

УДК [53.06/.04:535-1/-3](091)::[75:76]
DOI <https://doi.org/10.32782/uad.2024.1.1>

Андріанова Олена Борисівна,

кандидатка хімічних наук,
докторантка Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв,
директорка Бюро науково-технічної експертизи «АРТ-ЛАБ»
ORCID ID: 0000-0003-3835-6312
andria.elena@gmail.com

ЕВОЛЮЦІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТВОРІВ МИСТЕЦТВА В УЛЬТРАФІОЛЕТОВОМУ ДІАПАЗОНІ

Ультрафіолетове випромінювання широко використовується в дослідницькій та реставраційній практиках при вивченні об'єктів культурної спадщини. Період від відкриття УФ-променів та явища флуоресценції у XIX ст. до впровадження цифрових технологій та технічної фотографії наприкінці XX ст. характеризується формуванням методології дослідження творів мистецтва та її подальшою трансформацією. Мета статті – проаналізувати основні історичні етапи становлення та розвитку методу дослідження творів мистецтва в УФ-діапазоні шляхом застосування комплексного підходу, що об'єднав загальнофілософський та загальнонауковий методи, опирається на принципи історизму, загального зв'язку та взаємозалежності і використовує загальнологічні методи наукового пізнання. У статті вперше розглядається еволюція впровадження УФ-випромінювання у дослідницьку практику, обумовлена відкриттями у галузі розробки штучних джерел УФ-світла та технік фотофіксації видимої флуоресценції, наводиться аналіз сучасних підходів застосування УФ-випромінювання при проведенні експертизи творів живопису та графіки, зокрема методами ультрафіолетової рефлектографії, отримання хибнокольорових зображень та мультиспектральної візуалізації. Наведені перспективи розвитку методології дослідження творів мистецтва, спрямовані на удосконалення процесів та розширення можливостей практичного застосування ультрафіолетових променів. Показано, що в останні роки основна увага науковців спрямована на підвищення відтворюваності та стандартизацію фотофіксації в УФ-діапазоні шляхом розробки референтних кольорних шкал та надійних протоколів отримання, калібрування та корекції зображень об'єктів культурної спадщини. Представлені у статті матеріали можуть бути корисними для науковців та реставраторів і спонукатимуть до ширшого застосування наведених методів при дослідженні об'єктів культурної спадщини.

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання, джерела УФ-променів, флуоресценція, УФ-рефлектографія, хибнокольорові зображення УФ-відбиття, дослідження творів мистецтва.

Andrianova Olena. EVOLUTION OF FORMATION AND CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ART OBJECTS' RESEARCH IN THE ULTRAVIOLET RANGE

Ultraviolet radiation is widely used in research and restoration for the examination of cultural heritage objects. The period from the discovery of UV rays and the phenomenon of fluorescence in the 19th century to the introduction of digital technologies and technical photography in the late 20th century is characterized by the formation of a methodology for artworks research and its further transformation. The aim of the article is to analyze the main historical stages of the formation and development of the method of art objects examination in the UV range. There was applied an integrated approach that uses general logical methods of scientific knowledge and combines general philosophical and general scientific methods and is based on the principles of historicism, general connection, and interdependence. The article first discusses the evolution of the introduction of UV radiation into research practice in the context of discoveries in the development of UV light sources and techniques for visible fluorescence imaging. Modern approaches to the application of UV radiation in the examination of paintings and graphics arts, in particular, by ultraviolet reflectography, ultraviolet-reflected false-colour photography, and multispectral imaging have been analyzed. Prospects of the methodology development for the research of artworks aimed at improving the processes and expanding the possibilities of the practical application of ultraviolet rays are considered in this paper. It is shown that in recent years, the main attention of scientists has been focused on improving the reproducibility and standardization of UV imaging of cultural heritage objects by developing reference targets and reliable protocols for image acquisition, correction, and post-processing. The materials presented in this article could be useful for scientists and restorers for the further

development and promotion of modern approaches to the application of UV radiation for the examination of cultural heritage objects.

Key words: *ultraviolet radiation, UV light sources, UV fluorescence, UV reflectance photography, UV reflected false-colour images, art objects' research.*

Вступ. Дослідження творів мистецтва в ультрафіолетовому (УФ) діапазоні електромагнітного спектра широко використовуються в експертизі творів мистецтва, зокрема живопису та графіки. Вони дозволяють встановити ознаки природного старіння та побутування об'єктів, здійснити попередню ідентифікацію складу компонентів творів за характером їхньої флуоресценції та в окремих випадках зробити попередні висновки про час створення предмета. Протягом останніх десятиліть була розроблена та удосконалена методологія застосування УФ-рефлектографічного аналізу та отримання хибноколієвих зображень. В існуючих публікаціях українських авторів основна увага приділяється умовам фотофіксації видимої флуоресценції, збудженої УФ-променями, та можливостям методу [1, с. 29; 2, с. 24; 3, с. 28–30; 4, с. 6–7; 5, с. 20–21], проте, проблематика становлення, розвитку і сучасних тенденцій використання УФ-випромінювання при оптичних дослідженнях об'єктів культурної спадщини досі залишається поза увагою. Стаття спрямована на заповнення цієї прогалини.

Матеріали та методи. Публікації світової наукової спільноти щодо експертизи творів мистецтва в УФ-променях є достатньо численними. В огляді Гленди Марш [6] та праці Бернара Валера [7] основну увагу приділено природі ультрафіолетового випромінювання, розглянуто найперші спроби застосування ультрафіолету в дослідженні творів мистецтва та можливості використання методу в реставрації. Коротку історію впровадження досліджень творів мистецтва в УФ-променях в музейну практику наведено у статті [8]. Методологія аналізу флуоресценції творів мистецтва сформована в працях Франца Майрінгера [9; 10]. Монографія Клер Бузіт-Трагні [11] надає інформацію про теорію флуоресценції, індукованої ультрафіолетом, джерела УФ-випромінювання, висвітлює питання техніки безпеки, документування і

стандартизації процесу дослідження та містить рекомендації щодо аналізу фотографій в УФ-променях. Підходи до застосування методу УФ-рефлектографії при проведенні експертизи творів мистецтва наведені у ряді англійських статей [9; 12], умови проведення досліджень та можливості методу при вивченні об'єктів на паперовій основі окреслені в працях Пенелопи Бану [13; 14] та Клаудії Коліні [15; 16]. Методологія отримання та обробки мультиспектральних зображень представлена у посібнику [17]. У дослідженнях українських авторів проблематика становлення, розвитку і сучасних тенденцій використання УФ-випромінювання при проведенні експертизи об'єктів культурної спадщини досі залишається поза увагою.

Методологія дослідження базується на комплексному підході, що об'єднав загальнофілософський та загальнонауковий методи аналізу, опирається на принципи історизму, загального зв'язку та взаємозалежності, об'єктивності, конкретності та структурності, застосовує загальнологічні методи наукового пізнання, зокрема узагальнення, синтезу, індукції та дедукції.

Результати. Ультрафіолетове випромінювання – це частина електромагнітного спектру, розташована в області довжин хвиль від 10 до 400 нм. При дослідженнях творів мистецтва використовують довгохвильове УФ-випромінювання (UV-A), або ближній ультрафіолет, також відоме як чорне світло, або світло Вуда (320 і 400 нм).

Ультрафіолетові промені були відкриті у 1801-му р. англійцем Йоганном Ріттером [18, с. 143], методичні наукові дослідження флуоресценції були розпочаті лише в середині 1800-х рр. [8, с. 161]. Ранні наукові експериментатори, зокрема сер Девід Брюстер та сер Джон Гершель, визначили флуоресцентні явища як варіації відомих властивостей світла, таких як дифузія і дисперсія [19]. Важливою подією в історії вивчення УФ-променів стала

публікація у 1852-му р. фізиком і професором математики Кембриджського університету сером Джорджем Стоксом роботи «Про переломлення світла» [20]. Він дослідив явище світіння різних речовин у темряві під дією УФ-випромінювання і дав йому назву «флуоресценція» (від fluorite – мінерал CaF_2 , що світиться в УФ-променях). Протягом ХІХ ст. фізики зробили кілька важливих теоретичних та емпіричних внесків, які допомогли прояснити властивості ультрафіолетового випромінювання. Подальший розвиток досліджень був обумовлений новими відкриттями у галузі розробки штучних джерел УФ-світла.

Першу ртутну лампу, що мала практичне застосування, представив Пітер Купер Г'юїтт у 1901-му р. [21, с. 108]. Наступний прогрес у розробці ртутних ламп був результатом розвитку кварцових технологій на початку ХХ ст. Використання у конструкції ламп кварцу, який характеризується значною прозорістю для УФ-променів та високою термостійкістю, дозволило розробити лампи з покращеними оптичними властивостями і призвело до підвищення їхньої ефективності. У 1905-му р. німецький хімік Отто Шотт запропонував комерційну лампу Uviol, яка пропускала світло з довжиною хвилі від 253 до 405 нм [22].

Ранні розробки дугових та ртутних ламп, здатних виробляти ультрафіолетове світло, сприяли застосуванню досліджень творів з музейних колекцій в УФ-променях. У 1903-му р. Британський Музей природничої історії представив у Лондоні першу публічну виставку флуоресцентних мінералів [8, с. 162], що стало прецедентом використання ультрафіолетового дослідження в музеях. До кінця 1920-х р. дослідження музейних колекцій мали нерегулярний характер і переважно виконувалися науковцями природничо-наукових інститутів [22, с. 114].

У 1920–1930-х рр. були розроблені нові джерела ультрафіолетового світла. Аргонова лампа як джерело довгохвильового ультрафіолету набула поширення у 1920-х рр. [24, с. 15]. Лампа Ніко (Nico lamp), яка стала доступною у 1920-му р. [24, с. 15], складалася з довгої трубки, виготовленої з нікель-кобальтового

скла (звідси походження назви лампи – Nico), що містила ртуть. Нікель-кобальтове скло затримувало більшу частину видимого світла, що робило лампу ефективнішою, але значно дорожчою у виробництві. У 1919-му р., Роберт Вуд запропонував новий фільтр [25, с. 63], виготовлений із скла на основі оксиду нікелю. Фільтр Вуда був непрозорим для всіх світлових променів, окрім діапазону від 320 до 400 нм з максимумом пропускання при 365 нм. Невдовзі Вудом були розроблені техніки фотофіксації флуоресценції, індукованої УФ-променями, що зробило його засновником фотографії в ультрафіолетовому діапазоні спектра [25, с. 63]. Поява скляного фільтра, здатного пропускати лише УФ-світло, призвела до розробки наприкінці 1920-х рр. перших ртутних ламп Вуда (Wood's light) [8, с. 62] і, зрештою, до використання ультрафіолету в дослідженнях творів мистецтва.

У монографії Пітера Данкворта, виданій у 1928-му р. [26], були підведені перші підсумки розвитку досліджень видимої флуоресценції і показана можливість використання УФ-випромінювання у музейній практиці. Австрійський реставратор Роберт Маурер у 1929-му р. зареєстрував патент на технологію застосування УФ-променів при дослідженні об'єктів з музейних колекцій [23, с. 121]. Популяризація дослідження творів мистецтва в ультрафіолетовому діапазоні пов'язана з діяльністю науковців Музею мистецтва Метрополітен Жизелі Ріхтер та Джеймса Рорімера [27, с. 23], які опублікували ряд статей, присвячених використанню УФ-флуоресценції для виявлення підробок та реставрації. Дослідження Рорімера, розпочаті у 1928-му р., завершилися публікацією монографії «Ультрафіолетові промені і їх використання у дослідженні творів мистецтва» [28], виданої у 1931-му р. Це видання є одним з перших опублікованих прикладів широкого використання УФ-променів при дослідженні в музеях, і наводить не лише результати досліджень різноманітних матеріалів, але й докладний виклад методології аналізу. У 1933-му р. була опублікована знакова праця Джека Редлі та Джуліуса Гранта «Аналіз флуоресценції в ультрафіолетовому

світлі» [29], один з розділів якої присвячений дослідженню музейних об'єктів в ультрафіолетовому світлі, зокрема, використанню УФ-променів для розрізнення аутентичних предметів і підробок. У 1930-ті рр. про дослідження в УФ-променях говорилося вже як про метод вивчення творів мистецтва, який увійшов у повсякденну практику багатьох музейних лабораторій. Завдяки використанню ультрафіолету в реставраційних лабораторіях та майстернях були чітко визначені переваги, обмеження та можливості методу.

У сучасному науковому світі при вивченні творів мистецтва в ультрафіолетовому діапазоні застосовуються два основні підходи: візуальний огляд з метою ідентифікації УФ-флуоресценції, що збуджується джерелом ультрафіолетового випромінювання; фотофіксація флуоресценції матеріалів об'єкту, що збуджується УФ-променями. Фотофіксація має ряд переваг перед візуальним оглядом, оскільки дозволяє задокументувати результат дослідження для подальшого використання або аналізу, забезпечує постійність умов проведення досліджень і більшу чутливість, ніж візуальні спостереження.

У період від найранішнього застосування у 1930-х рр. дотепер ультрафіолетова фотографія пережила перехід від чорно-білих до кольорових плівок, завершившись використанням цифрових фотокамер наприкінці 1980-х рр. Цифрова УФ-фотографія має додаткові переваги над аналоговою у документації досліджень, зокрема миттєвий результат, можливість корегувати чутливість, контролювати точність передачі кольорів [11, с. 14; 30, с. 28–29].

Кінець ХХ ст. був відзначений розвитком нових технік отримання зображень у різних діапазонах електромагнітного спектра. Відомо [9, с. 47–48], що при взаємодії ультрафіолетового випромінювання з поверхнею об'єкта можуть відбуватися наступні процеси: УФ-промені розсіюються або відбиваються від поверхні при незмінній довжині хвилі; УФ-промені поглинаються поверхневими шарами і перетворюються на теплову енергію; УФ-випромінювання поглинається матеріалами поверхні об'єкту та індукує видиму

флуоресценцію. З 1970-х рр. набуває поширення УФ-рефлектографічний метод дослідження [31], заснований на реєстрації довгохвильового УФ-випромінювання (UV-A), відбитого від поверхні об'єкта. Метод полягає у використанні камери, обладнаної фільтром, що здатний поглинати видиме світло та ІЧ-промені, здійснювати фотофіксацію відбитого ультрафіолету. УФ-рефлектографічні дослідження є корисним інструментом для попередньої ідентифікації білих пігментів та виявлення реставраційних тонувань.

У 1990-х рр. були запроваджені декілька методик фотографування творів мистецтва у відбитих УФ-променях на аналогові камери з фіксацією отриманого зображення на плівку [32, с. 389], але вони мали обмежений успіх, оскільки вимагали високого рівня технічної підготовки експерта, необхідність калібрування експозиції та тривалий час зйомки. З появою цифрових камер реєстрація відбитого ультрафіолетового випромінювання набула більшого поширення. У 2010-х рр. була розроблена методологія дослідження, що призвело до отримання високоякісних зображень, придатних для інтерпретації та аналізу [31; 33].

Подальший розвиток досліджень творів мистецтва в УФ-діапазоні пов'язаний із застосуванням цифрових технологій. У 2004-му р. Альфредо Альдрованді запропонував методику отримання хибнокольорових зображень ультрафіолетового відбиття (ultraviolet-reflected false-colour, UVRFC) [34] шляхом комбінування у графічному редакторі трьох RGB-каналів зображень об'єкта у видимому та відбитому ультрафіолетовому діапазонах. Метод є ефективним у присутності захисного лаку і успішно застосовується для розрізнення та попередньої ідентифікації пігментів, близьких за колірною гамою та різних за відбивною здатністю у ближньому УФ-діапазоні, зокрема різних типів білила, кіноварі та кадмію червоного (сульфід селенід кадмію), хрому зеленого та кобальту зеленого.

Останнє десятиліття відзначається розвитком методу мультиспектральної візуалізації, або технічної фотографії (Technical Photography), що ґрунтується на аналізі спек-

тральних зображень, отриманих за допомогою модифікованої цифрової камери повного спектра (дозволяє проводити фотофіксацію в діапазоні від 360 до 1100 нм) з використанням різних джерел освітлення та фільтрів. Метод уперше був запропонований для дослідження об'єктів культурної спадщини на початку 1990-х рр. [35, с. 310]. У 2015-му рр. Антоніно Косентіно публікує статтю [33], присвячену можливостям практичного застосування ультрафіолетової технічної фотографії при вивченні живописних матеріалів. Покращення методології мультиспектральної візуалізації як перспективного інструменту для ідентифікації матеріальних складових творів живопису та графіки обговорюється у ряді публікацій [36; 37; 38; 39].

В останні роки основна увага науковців спрямована на підвищення відтворюваності та стандартизацію отримання зображень в УФ-діапазоні. Питання стандартизації і обмежень флуоресцентного аналізу вперше були обговорені у 1959-му р. Редлі і Грантом [29], проте до початку XXI ст. суттєвих зрушень у розробці стандартних кольорних шкал не відбулося [8, с. 48]. У 2005-му р. Клер Бузіт-Трагні рекомендує для підвищення відтворюваності та забезпечення можливості порівняльного аналізу зображень творів мистецтва в УФ-діапазоні використовувати спеціальні референтні кольорні шкали на основі матеріалів, що мають характерні кольори флуоресценції [40], зокрема шелаку, титанового білила та родаміну Ж. Ряд наукових праць, присвячених розробці референтних УФ-шкал компанією UV Innovations™, був опублікований у середині 2010-х рр. [41; 42]. Наведені результати тестування комерційно доступних шкал Target-UV™ та UV-Gray™ показали [43, с. 52], що вони є стабільними в УФ-променях, їхнє використання при фотофіксації дозволяє отримати відтворюваніші результати, проте ряд недоліків, зокрема висока вартість та вплив на відтворюваність результатів характеристик джерела УФ-променів та камери, обмежують їхнє використання у дослідницькій практиці. У 2023-му р. було представлено економічно ефективно і просте рішення для

калібрування зображень при фотофіксації в ультрафіолетовому діапазоні [44], яке полягає у використанні політетрафторетиленової стрічки, наклеєної на поліровану сталеву фольгу.

Наразі у наукових колах триває дискусія щодо стандартизації методик дослідження в УФ-діапазоні. Протягом останніх років у рамках європейського проекту CHARISMA [17] Американським інститутом збереження історичних та мистецьких творів [45] та Відділом консервації Бібліотеки Конгресу США [46] були розроблені посібники з фотофіксації об'єктів культурної спадщини. Оптимізація і стандартизація експериментальних процедур і протоколів збору зображень стала першим кроком на шляху до вирішення проблем поліпшення відтворюваності та взаємопорівняння зображень творів мистецтва, отриманих у різних діапазонах електромагнітного спектра, зокрема в УФ-випромінюванні, різними експертами та дослідницькими установами.

Висновки. Дослідження в УФ-діапазоні широко використовуються при проведенні експертизи творів мистецтва з музейних колекцій з 1930-х р. Протягом наступних десятиліть була розроблена та удосконалена методологія фотофіксації ультрафіолетової флуоресценції. У 1970-х рр. у дослідницьку практику був впроваджений метод УФ-рефлектографії, який із розвитком цифрових технологій був доповнений методикою отримання хибнокольорових зображень. Сучасні тенденції характеризуються розвитком методу мультиспектральної візуалізації та спрямовані на розширення можливостей практичного застосування ультрафіолетових променів при вивченні об'єктів культурної спадщини. Розробки останніх років спрямовані на удосконалення методології досліджень, підвищення відтворюваності та стандартизацію отримання зображень в УФ-діапазоні. Представлені у статті матеріали можуть бути корисними для дослідників та спонукатимуть до ширшого застосування наведених методів при проведенні експертизи творів мистецтва з музейних колекцій.

Література:

1. Тимченко Т.Р. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис (історія та методологія): навч. посіб. Київ : НАКККіМ, 2017. 120 с.
2. Цитович В.І. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис : (методологія та практика): навч. посіб. Київ : НАКККіМ, 2018. 232 с.
3. Андріанова О. Технологічні дослідження в структурі мистецтвознавчої експертизи. Український мистецтвознавчий дискурс: колективна монографія / За заг. ред. д. іст. н. В.В. Карпова; НАКККіМ. Рига : Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. С. 20–70.
4. Андріанова О.Б., Біскулова С.О., Живкова О.В., Тимченко Т.Р., Чуєва К.Є. НАУка. МИстецтво. СТУДІЇ. Освіта. Технологічні дослідження творів мистецтва з колекції Музею Ханенків : методичний посібник. Київ : Видавництво «Фенікс», 2019. 40 с.
5. Андріанова О., Біскулова С., Перевальський В., Чуєва К., Шостак О. Технологічні дослідження творів європейської графіки з колекції музею Ханенків. НАУка. МИстецтво. СТУДІЇ. Освіта. : методичний посібник. Київ : Видавництво «Фенікс», 2020. 64 с.
6. Marsh, G.S. The use of ultraviolet radiation in the examination of works of art, artefacts, and informational resources. *ICCM Bulletin*. 1978. Vol. 4(2-3). P. 29–40. DOI: 10.1179/iccm.1978.4.2-3.005.
7. Valeur, B., Berberan-Santos, M.N. A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory. *Journal of Chemical Education*. 2011. Vol. 88(6). P. 731–738. DOI: 10.1021/ed100182h.
8. Hickey-Friedman, L. A review of ultra-violet light and examination techniques. *Objects Specialty Group Session : Proceedings of the 30th Annual Meeting*. V. Greene, & P. Griffin (Eds.). Washington DC : Objects Specialty Group of the American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works, 2002. Vol. 9. P. 161–168.
9. Mairinger, F. UV-, IR- and X-ray imaging. Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials. Janssens, K., Van Grieken, R. (Eds.). Antwerp Belgium : Elsevier Science. 2004. P. 15–71. DOI: 10.1016/S0166-526X(04)80006-0.
10. Mairinger, F. The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts. *Radiation in Art and Archeometry*. / Eds. D.C. Creagh, D.A. Bradley. Amsterdam, The Netherlands : Elsevier Science, 2000. P. 56–75.
11. Buzit-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, NY : George Eastman House, Image Permanence Institute, 2005. 115 p.
12. Williams, R., Williams, G. Ultraviolet, Infrared & Fluorescence Photography. Reflected Ultraviolet Photography, 2005. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ultraviolet-%2C-Infrared-%26-Fluorescence-Photography-Williams/ad39e89ba3595d63eaa11f4ba437f21d95ff68fe>.
13. Banou P., Alexopoulou A., Singer B. W. Investigation of oil binder absorption into paper support with ultraviolet-induced visible fluorescence and ultraviolet reflectance photography. *e-Preservation Science Journal*. 2017. Vol. 14. P. 1–8.
14. Banou P., Alexopoulou A., Kaminari A.A. Photographic and technical examination: A valuable tool for the conservation treatment of works of art on paper and parchment. *Works of art on Parchment and paper, interdisciplinary approaches* / Eds. N. Golob, & J.V. Tomazic. Ljubljana : Slovenian Ministry of Culture and the Archives of the Republic of Slovenia, 2019, P. 217–225.
15. Eva B., Claudia C., Oliver H., Rabin Ira. Scientific investigations on paper and writing materials of Mali: A pilot study. *Journal of African Studies and Development*. 2019. Vol. 11(3). P. 28–50. DOI: 10.5897/jasd2017.0453.
16. Colini, C., Shevchuk, I., Huskin, K.A., Rabin, I., Hahn, O. A new standard protocol for identification of writing media. *Exploring Written Artefacts: Objects, Methods, and Concepts* / Ed. J.B. Quenzer. Berlin/ Boston : De Gruyter. 2021. P. 161–182. DOI: 10.1515/9783110753301-009.
17. Dyer, J., Verri, G., Cupitt, J. Multispectral imaging in reflectance and photo-induced luminescence modes: A user manual. London : British Museum. 2013. 184 p.
18. Frercks, J., Weber, H., Wiesenfeldt, G. Reception and discovery: the nature of Johann Wilhelm Ritter's invisible rays. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*. 2009. Vol. 40(2), P. 143–156. DOI: 10.1016/j.shpsa.2009.03.014.
19. Sutton, M. A. Sir John Herschel and the Development of Spectroscopy in Britain. *The British Journal for the History of Science*. 1974. Vol. 7(01). P. 42. DOI: 10.1017/s0007087400012851.
20. Stokes, G.G. On the change of refrangibility of light. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*. 1852. Vol. 142. P. 463–562. DOI: 10.1098/rstl.1852.0022.
21. Rubin, M.B. The development of the mercury lamp. *Bulletin for the History of Chemistry*. 2010. Vol. 35(2). P. 105–110.

22. Schott, O. A New Ultra-Violet Mercury Lamp. *Nature*. 1905. Vol. 72. P. 513–514. DOI: 10.1038/072513a0.
23. Dupré, S., Boulboulle, J. (Eds.). *Histories of Conservation and Art History in Modern Europe*. New York : Routledge, 2022. 240 p.
24. Robbins, M. *The collector's book of fluorescent minerals*. Van Nostrand Reinhold Company Inc., Springer Science & Business Media : New York. 1983. 289 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-4792-8.
25. Sharma, Sh., Sharma, A. Robert Williams Wood: pioneer of invisible light. *Photodermatology, photoimmunology & photomedicine*. 2016. Vol. 32(2). P. 60–65.
26. Dankwortt, P.W. *Lumineszenz-Analyse im filtrierten ultravioletten Licht: ein Hilfsbuch beim Arbeiten mit den Analysenlampen*. Leipzig : Akademische Verlagsgesellschaft, 1929. 143 p.
27. Becker, L., Schorsch, D. The Practice of Objects Conservation in the Metropolitan Museum of Art (1870-1942). *Metropolitan Museum Studies in Art, Science and Technology*. 2010. Vol. 1. P. 11–37.
28. Rorimer, J.J. *Ultra-violet rays and their use in the examination of works of art*. New York : Metropolitan Museum of Art, 1931. 156 p.
29. Radley, J.A., Grant, J. *Fluorescence Analysis in Ultra-Violet Light*. London : Chapman & Hall, 1933. 219 p.
30. Martinez, K., Cupitt, J., Saunders, D., Pillay, R. et al. Ten years of art imaging research. *IEEE International Conference on Communications*. 2002. Vol. 90(1). P. 28–41.
31. Garcia, J.E., Wilksch, P.A., Spring, G., Philp, P., Dyer, A. Characterization of Digital Cameras for Reflected Ultraviolet Photography; Implications for Qualitative and Quantitative Image Analysis During Forensic Examination. *Journal of Forensic Sciences*. 2013. Vol. 59(1). P. 117–122. DOI: 10.1111/1556-4029.12274.
32. Ray, S. *Scientific photography and applied imaging*, Boston : Focal Press, 1999. 586 p.
33. Cosentino, A. Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património*. 2015. Vol. 21. P. 53–62. DOI: 10.14568/cp2015006.
34. Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., Kunzelman, D. Indagini su superfici dipinte mediante immagini UV riflesse in falso colore in. *OPD Restauro*. 2004. Vol. 16. P. 83–87. Режим доступу: <http://www.jstor.org/stable/24392513>.
35. Liang, H. Advances in multispectral and hyperspectral imaging for archaeology and art conservation. *Applied Physics A*. 2012. Vol. 106. P. 309–323. DOI: 10.1007/s00339-011-6689-1.
36. Hayem-Ghez, A., Ravaud, E., Boust, C., Bastian, G., Menu, M., & Brodie-Linder, N. Characterizing pigments with hyperspectral imaging variable false-color composites. *Appl. Phys. A*. 2015. Vol. 121. P. 939–947. DOI: 10.1007/s00339-015-9458-8.
37. Cosentino, A. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*. 2014. Vol. 2(8). P. 1–12. P. DOI: 10.1186/2050-7445-2-8.
38. Balas, C., Epitropou, G., Tsapras, A., Hadjinicolaou, N. Hyperspectral imaging and spectral classification for pigment identification and mapping in paintings by El Greco and his workshop. *Multimedia Tools and Applications*. 2018. Vol. 77(8). P. 9737–9751. DOI: 10.1007/s11042-017-5564-2.
39. Bechstedt, J. Distinction of green pigments from yellow mixed with blue and black using multispectral/multiband imagery. *Proceedings from Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation – ICOM-CC 19th Triennial Conference (17–22 May 2021, Beijing)*. Beijing : ICOM-CC. 2021. P. 17–21.
40. Buzit-Tragni, C. Appendix I – Target for Fluorescence Photography / Buzit-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, NY : George Eastman House, Image Permanence Institute, 2005. P. 1–5.
41. McGlinchey Sexton, J., Messier, P., Chen, J. J. Development and testing of a fluorescence standard for documenting ultraviolet induced visible fluorescence. *Proceedings from 42nd Annual American Institute for Conservation Meeting «Conscientious Conservation – Sustainable Choices in Collection Care »*. San Francisco: American Institute for Conservation. 2014. p. 105–108..
42. McGlinchey Sexton, J., Messier, P. Permanence of the Target-UVTM and UV-GrayTM. 2015. Retrieved from http://docs.wixstatic.com/ugd/750e25_77a29ae0fb3a459b9fe83189272b9bf1.pdf
43. Fuster, L., Stols-Witlox, M., Picollo, M. *UV-Vis Luminescence imaging techniques/Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis*. Vol. 1. València : Editorial Universitat Politècnica de València, 2020. 342 p.
44. Pozeilov, Y. Simple ultraviolet-induced visible fluorescence target or a low cost alternative to a spectralon. *Proceedings from Archiving 2023*. Springfield, USA : Society for Imaging Science and Technology, 2023. p. 116–120. DOI: 10.2352/issn.2168-3204.2023.20.1.25.
45. Warda, J. (ed.), Frey, F., Heller, D., Kushel, D., et al. *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. 3rd Edition. Washington, DC : American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. 2017. 223 p.

46. Edwards, G., Oey, M. (Eds.) Digital imaging workflow for treatment documentation. 3rd Edition. Conservation Division, Preservation Directorate Library of Congress, 2018. 201 p. Режим доступу: <https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/Docs/Digital%20Imaging%20Workflow.pdf>.

References:

1. Tymchenko, T.R. (2017). *Ekspertyza tvoriv obrazotvorchoho mystetstva: zhyvopys (istoriia ta metodolohiia)* [Examination of works of fine art: painting (history and methodology)]. Kyiv: NAKKKiM [in Ukrainian].
2. Tsytovykh, V.I. (2018). *Ekspertyza tvoriv obrazotvorchoho mystetstva: zhyvopys : (metodolohiia ta praktyka)* [Examination of works of fine art: painting: (methodology and practice)]. Kyiv: NAKKKiM [in Ukrainian].
3. Andrianova, O. (2020). Tekhnolohichni doslidzhennia v strukturii mystetstvoznavchoi ekspertyzy [Technological research in the structure of art historical expertise]. *Ukrainskyi mystetstvoznavchyi dyskurs — Ukrainian art discourse* (pp. 20–70). Ryha: «Baltija Publishing». [in Ukrainian].
4. Andrianova, O.B., Biskulova, S.O., Zhyvkova, O.V., Tymchenko, T.R., & Chuieva, K.Ye. (2020). *NAuka. MYstetstvo. STudii. OSvita. Tekhnolohichni doslidzhennia tvoriv mystetstva z kolektsii Muzeiu Khanenkiv* [Science. Art. Studios. Education. Technological research of works of art from the Khanenko Museum collection]. Kyiv: Feniks. [in Ukrainian].
5. Andrianova, O., Biskulova, S., Pereval'skyi, V., Chuieva, K., & Shostak, O. (2020). *Tekhnolohichni doslidzhennia tvoriv yevropeiskoi hrafiky z kolektsii muzeiu Khanenkiv. Nauka. MYstetstvo. STudii. OSvita* [Technological research of European graphic works from the Khanenko Museum collection. Science. Art. Studios. Education]. Kyiv: Feniks. [in Ukrainian].
6. 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. DOI: 10.1179/iccm.1978.4.2-3.005.
7. Valeur, B., & Berberan-Santos, M.N. (2011). A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory. *Journal of Chemical Education*, 88(6), 731–738. DOI: 10.1021/ed100182h.
8. Hickey-Friedman, L. (2002). A review of ultra-violet light and examination techniques. V. Greene, P. Griffin (Eds.), *Objects Specialty Group Session : Proceedings of the 30th Annual Meeting*, (Vol. 9), (pp. 161–168). Washington DC: Objects Specialty Group of the American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works.
9. Mairinger, F. (2004). UV-, IR- and X-ray imaging. *Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials*. Janssens, K., Van Grieken, R. (Eds.). (pp. 15–71). Antwerp Belgium: Elsevier Science. DOI: 10.1016/s0166-526x(04)80006-0.
10. Mairinger, F. (2000). The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts. *Radiation in Art and Archeometry*, (p. 56–75). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science.
11. Buzit-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. Rochester, NY : George Eastman House, Image Permanence Institute.
12. Williams, R., & Williams, G. (2005). Ultraviolet, Infrared & Fluorescence Photography. Reflected Ultraviolet Photography. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Ultraviolet-%2C-Infrared-%26-Fluorescence-Photography-Williams/ad39e89ba3595d63eaa11f4ba437f21d95ff68fe>.
13. Banou, P., Alexopoulou, A., & Singer, B. W. (2017). Investigation of oil binder absorption into paper support with ultraviolet-induced visible fluorescence and ultraviolet reflectance photography. *e-Preservation Science Journal*, 14, 1–8.
14. Banou, P., Alexopoulou, A., & Kaminari, A.A. (2019). Photographic and technical examination: A valuable tool for the conservation treatment of works of art on paper and parchment. *Works of art on Parchment and paper, interdisciplinary approaches*. N. Golob, & J.V. Tomazic (Eds.), (pp. 217–225). Ljubljana : Slovenian Ministry of Culture and the Archives of the Republic of Slovenia.
15. Eva, B., Claudia, C., Oliver, H., & Rabin, I. (2019). Scientific investigations on paper and writing materials of Mali: A pilot study. *Journal of African Studies and Development*, 11(3), 28–50. DOI: 10.5897/jasd2017.0453.
16. Colini, C., Shevchuk, I., Huskin, K.A., Rabin, I., & Hahn, O. (2021). A new standard protocol for identification of writing media. *Exploring Written Artefacts: Objects, Methods, and Concepts*. J.B. Quenzer (Ed.), (pp. 161–182). Berlin/Boston : De Gruyter. DOI: 10.1515/9783110753301-009.
17. Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral imaging in reflectance and photo-induced luminescence modes: A user manual*. London : British Museum.
18. Frercks, J., Weber, H., & Wiesenfeldt, G. (2009). Reception and discovery: the nature of Johann Wilhelm Ritter's invisible rays. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 40(2), 143–156. DOI: 10.1016/j.shpsa.2009.03.014.

19. Sutton, M.A. (1974). Sir John Herschel and the Development of Spectroscopy in Britain. *The British Journal for the History of Science*, 7(01), 42. DOI: 10.1017/s0007087400012851.
20. Stokes, G.G. (1852). On the change of refrangibility of light. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 142, 463–562. DOI: 10.1098/rstl.1852.0022.
21. Rubin, M.B. (2010). The development of the mercury lamp. *Bulletin for the History of Chemistry*, 35(2), 105–110.
22. Schott, O. (1905). A New Ultra-Violet Mercury Lamp. *Nature*, 72, 513–514. DOI: 10.1038/072513a0.
23. Dupré, S., & Boulboulé, J. (Eds.). (2022). *Histories of Conservation and Art History in Modern Europe*. New York: Routledge.
24. Robbins, M. (1983). *The collector's book of fluorescent minerals*. Van Nostrand Reinhold Company Inc., Springer Science & Business Media : New York. 1983. DOI: 10.1007/978-1-4757-4792-8.
25. Sharma, Sh., & Sharma, A. (2016). Robert Williams Wood: pioneer of invisible light. *Photodermatology, photoimmunology & photomedicine*, 32(2), 60–65.
26. Danckwortt, P.W. (1929). *Lumineszenz-Analyse im filtrierten ultravioletten Licht: ein Hilfsbuch beim Arbeiten mit den Analysenlampen [Luminescence analysis in filtered ultraviolet light: an aid to working with analytical lamps]*. Leipzig : Akademische Verlagsgesellschaft. [in German].
27. Becker, L., & Schorsch, D. (2010). The Practice of Objects Conservation in the Metropolitan Museum of Art (1870–1942). *Metropolitan Museum Studies in Art, Science and Technology*, 1, 11–37.
28. Rorimer, J.J. (1931). *Ultra-violet rays and their use in the examination of works of art*. New York : Metropolitan Museum of Art.
29. Radley, J.A., & Grant, J. (1933). *Fluorescence Analysis in Ultra-Violet Light*. London : Chapman & Hall.
30. Martinez, K., Cupitt, J., Saunders, D., Pillay, R. et al. (2002). Ten years of art imaging research. *IEEE International Conference on Communications*, 90(1), 28–41.
31. Garcia, J.E., Wilksch, P.A., Spring, G., Philp, P., & Dyer, A. (2013). Characterization of Digital Cameras for Reflected Ultraviolet Photography; Implications for Qualitative and Quantitative Image Analysis During Forensic Examination. *Journal of Forensic Sciences*, 59(1), 117–122. DOI: 10.1111/1556-4029.12274.
32. Ray, S. (1999). *Scientific photography and applied imaging*, Boston : Focal Press.
33. Cosentino, A. (2015). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património*, 21, 53–62. DOI: 10.14568/cp2015006.
34. Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., Kunzelman, D. (2004). Indagini su superfici dipinte mediante immagini UV riflesse in falso colorein [Investigation of painted surfaces using UV reflected false-color imaging]. *OPD Restauro*, 16, 83–87. Retrieved from: <http://www.jstor.org/stable/24392513>.
35. Liang, H. (2012). Advances in multispectral and hyperspectral imaging for archaeology and art conservation. *Applied Physics A*, 106, 309–323. DOI: 10.1007/s00339-011-6689-1.
36. Hayem-Ghez, A., Ravaud, E., Boust, C., Bastian, G., Menu, M., & Brodie-Linder, N. (2015). Characterizing pigments with hyperspectral imaging variable false-color composites. *Appl. Phys. A*. 2015. Vol. 121. P. 939–947. DOI: 10.1007/s00339-015-9458-8.
37. Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, 2(8), 1–12. DOI: 10.1186/2050-7445-2-8.
38. Balas, C., Epitropou, G., Tsapras, A., & Hadjinicolaou, N. (2018). Hyperspectral imaging and spectral classification for pigment identification and mapping in paintings by El Greco and his workshop. *Multimedia Tools and Applications*, 77(8), 9737–9751. DOI: 10.1007/s11042-017-5564-2.
39. Bechstedt, J. (2021). Distinction of green pigments from yellow mixed with blue and black using multispectral/multiband imagery. *Proceedings from Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation : ICOM-CC 19th Triennial Conference*. (pp. 17–21). Beijing : ICOM-CC.
40. Buzit-Tragni, C. (2005). Appendix I – Target for Fluorescence Photography. *The Use of Ultraviolet-Induced Visible Fluorescence for Examination of Photographs*. Buzit-Tragni, C. (Ed.). (pp. 1–5). Rochester, NY : George Eastman House, Image Permanence Institute.
41. McGlinchey Sexton, J., Messier, P. & Chen, J.J. (2014). Development and testing of a fluorescence standard for documenting ultraviolet induced visible fluorescence. *Proceedings from 42nd Annual American Institute for Conservation Meeting «Conscientious Conservation – Sustainable Choices in Collection Care»*. (pp. 105–108). San Francisco: American Institute for Conservation.
42. McGlinchey Sexton, J. and Messier, P. (2015). Permanence of the Target-UVTM and UV-GrayTM. Retrieved from http://docs.wixstatic.com/ugd/750e25_77a29ae0fb3a459b9fe83189272b9bf1.pdf
43. Fuster, L, Stols-Witlox, M., Picollo, M. (2020). *UV-Vis Luminescence imaging techniques/Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis*. Vol. 1. València: Editorial Universitat Politècnica de València.

44. Pozeilov, Y. A (2023). Simple ultraviolet-induced visible fluorescence target or a low cost alternative to a spectralon. Proceedings from *Archiving 2023*. (pp. 116–120). Springfield, USA : Society for Imaging Science and Technology. DOI: 10.2352/issn.2168-3204.2023.20.1.25.

45. Warda, J. (ed.), Frey, F., Heller, D., Kushel, D., et al. (2017). *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. 3rd Edition. Washington, DC: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

46. Edwards, G., Oey, M. (Eds.) (2018). *Digital imaging workflow for treatment documentation*. 3rd Edition. Conservation Division, Preservation Directorate Library of Congress. <https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/Docs/Digital%20Imaging%20Workflow.pdf>.