

819436052819044&set=a.417544909674829.

22. Osnovni zasady ta shliakhy formuvannia spilnoi identychnosti hromadian Ukrainy. *Informatsiino-analitychni materialy do Kruhloho stolu* 12 kvitnia 2017 r. Kyiv : Tsentrazumkova, 2017. 93 s.

23. Pavlichenko Ye. Suchasna vizualna kultura yak zasib reprezentatsii natsionalnoi identychnosti. Pytannia kulturolohi, 2023. Vypusk 42. S. 57-65. DOI: <https://10.31866/2410-1311.42.2023.293704> URL: <http://issues-culture-knukim.pp.ua/article/view/293704/286725>

24. Pasichnyi A. Natsionalna tradytsiia i novatorstvo v suchasnomu profesiinomu stankovomu dekorativnomu maliarstvi. *Visnyk Odeskoho istoryko-kraieznavchoho muzeiu*. Vyp. 8. URL: <https://history.odessa.ua/publication8/stat14.htm>

25. Podhurska S. Svit symboliv u mystetstvi ukrainskoho baroko. *Mediievist*, 28 bereznia 2014. URL: https://www.mediievist.org.ua/2014/03/blog-post_28.html.

26. Polovna-Vasyliieva O. Khudozhnii analiz dekorativno-ornamentalnogo maliarstva petrykivky KhKh stolittia (za pryvatnymy zbirkamy petrykivskoho rozplysu Volodymyra Paduna ta Andriia Pikusha). *Naukovi zapysky. Seria: Mystetstvoznavstvo*, 2015. № 1. Vyp. 33. S. 162-167.

27. Puryha I. Krolevetski rushnyky: istoriia, semantyka, tekhnolohiia. Sumy : Trytoriia, 2018. 40 s.

28. Sadovenko S. Khronotopy aksiosfery ukrainskoi narodnoi khudozhnoi kultury. *Monohrafiia*. Kyiv : NAKKKiM, 2019. 356 s.

29. Ternopilskyi khudozhnyk Oleh Shupliak za dopomohoiu shtuchnoho intelektu «ozhyvyv» kartyny nevidomykh khudozhnykiv. *Teren. Ternopilski novyny*, 27 lypnia 2024. URL: <https://www.facebook.com/watch/?v=3850458461862162>.

30. Shokalo O. Anteistychna osnova ukrainskoho svitohliadu. *Ukrainskyi svit, statst i chasopys*, 25 chervnia 2018. URL: <https://ukrsvit1.com.ua/liudy/suspilstvo-pravo-lad/anteistychna-osnova-ukrainskoho-svitohliadu.html>.

31. Yur M. Ukrainskyi zhyvopys KhIKh – pochatku KhKhI stolittia: natsionalna, konventsionalna, avtorska modeli. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia doktora mystetstvoznavstva za spetsialnistiu 26.00.01 teoriia ta istoriia kultury / Instytut problem suchasnoho mystetstva Natsionalnoi akademii mystetstv Ukrainy, Kyiv, 2021. 482 c.

UDC 930.85:75

NATIONAL IDENTITY IN CONTEMPORARY UKRAINIAN FINE ART: THE INFLUENCE OF TRADITIONS AND INNOVATIONS

Ropetskyi Volodymyr – Docent, Honored Artist of Ukraine, Docent of the Department of Graphics Art of Books, Lviv Polytechnic National University, Lviv

Zolotarchuk Nataliia – Candidate of Study of Art, Associate Professor of the Department of Design King Daniel University, Ivano-Frankivsk

Stoliarchuk Natalia – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cultural Studies, Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk

The phenomenon of the manifestation of national identity in the context of modern Ukrainian fine art is studied using the example of the works of Olga Haydamaka and Oleg Shupliak. The basis of the study is the analysis of how traditional Ukrainian motifs and images are transformed by modern artists, creating new forms of expression of national consciousness, especially in the conditions of the Russian-Ukrainian war.

National identity is one of the key factors affecting the development of modern Ukrainian art. Traditional images and symbols, on the one hand, serve as a solid foundation for artistic creativity, and on the other hand, they become the object of new interpretations and experiments. There is also a certain historical and cultural connection between the ideological visions of the Baroque era and the present. In particular, this is noticeable in the actualization of the image of Hryhoriy Skovoroda and his philosophical and aesthetic ideas and views, which, in particular, was embodied in her work by Olga Haydamaka. She also actively popularizes Ukrainian traditional costumes and female and mythological images through her work. Oleg Shupliak, among other things, actualized the plots and images of mythology, adapting them to the realities of the Russian-Ukrainian war and created a number of original works of art, in which the historical and cultural traditions of the Ukrainian people are recorded in a visual form.

Modern Ukrainian artists actively use the possibilities of modern art to express their national identity, creating original and relevant works.

Key words: baroque, mythology, folk art, national identity, fine art, Oleg Shupliak, Olga Haydamaka.

Надійшла до редакції 7.04.2024 р.

УДК 7.038.54:535.6

ДОСЛІДЖЕННЯ ТВОРІВ МИСТЕЦТВА В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ : ЕВОЛЮЦІЯ, МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДУ

Олена Андріанова – кандидат хімічних наук, доцент кафедри мистецтвознавчої експертизи,

Національна академія керівних кадрів культури і мистецтв, Київ,
директорка Бюро науково-технічної експертизи «АРТ-ЛАБ», Київ,

<http://orcid.org/0000-0003-3835-6312>

<https://doi.org/10.35619/ucpmk.vi49.863>

andria.elena@gmail.com

Розглянута еволюція дослідження творів мистецтва в інфрачервоному випромінюванні, проаналізована від фотофіксації на сенсibilізовані фотоплівки до сучасного методу мультиспектральної візуалізації. Виявлені передумови появи, особливості розвитку та можливості методів інфрачервоної фотографії та рефлектографії, інфрачервоної люмінесценції та методу хибнокольорових зображень в інфрачервоному діапазоні.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, історія розвитку, рефлектографічні дослідження, інфрачервона люмінесценція, хибнокольорові зображення в інфрачервоному діапазоні, технічна фотографія

Постановка проблеми. Дослідження об'єктів культурної спадщини в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні є невід'ємною складовою комплексної мистецтвознавчої експертизи. Вони широко використовуються з метою встановлення стану збереження творів, виявлення пізніх втручань, вивчення підготовчих рисунків, аналізу авторської техніки художників та попередньої ідентифікації пігментів [2; 31, 52; 51–54, 71; 72–75]. Розвиток техніки та технології досліджень, поява цифрових фотокамер та комп'ютерних технологій обробки зображень значно розширили можливості методу, зробили його легким у використанні та доступним. Дотепер публікації українських науковців були присвячені особливостям умов проведення досліджень та можливостям аналізу творів живопису й графіки у відбитих інфрачервоних променях [1; 7–8, 3; 22, 4; 29–30, 5; 25]. Проблематика еволюції розвитку методології, техніки та технології досліджень в ІЧ-діапазоні, використання методів ІЧ-люмінесценції, хибнокольорових зображень в ІЧ-діапазоні та мультиспектральної фотографії при проведенні експертизи творів мистецтва в Україні досі залишається поза увагою.

Аналіз останніх досліджень. Наукові публікації європейських та американських дослідників, у яких висвітлюються різноманітні аспекти застосування інфрачервоного випромінювання при проведенні експертизи об'єктів культурної спадщини, є достатньо численними. У працях Рони Макбет (Rhona MacBeth) та Кейтлін Бріп (Caitlin Breare) [50], Франца Майрінгера (Franz Mairinger) [51, 52], Робіна і Джіджі Вільямсів (Robin Williams, Gigi Williams) [86] описані властивості інфрачервоного випромінювання, наведені основні етапи розвитку застосування методології ІЧ-фотографії та ІЧ-рефлектографії і практичні аспекти використання ІЧ-випромінювання при дослідженні матеріалів живописних та графічних творів. Історія розвитку застосування сенсibilізаторів для фотофіксації у ближньому ІЧ-діапазоні висвітлені у роботах Леслі Брукера (Leslie Brooker) [13] і Клауса Хеншеля (Klaus Hentschel) [42; 256–261]. Передумови появи та еволюція ІЧ-рефлектографічних досліджень відображені у статтях Йогана ван Асперена де Бура (Johan van Asperen de Boer) [74; 75; 76], Андреа Казіні (Andrea Casini) [15], Рафаелли Фонтана (Raffaella Fontana) [36] та Елізабет Вебб (Elizabeth Webb) [84]. Роботи, у яких висвітлюються історія появи та можливості методу інфрачервоної люмінесценції, є нечисленними і переважно присвячені ідентифікації ряду неорганічних пігментів [12; 72]. Значний внесок у розвиток методології ІЧ-люмінесценції та оптимізації умов проведення досліджень був зроблений Джованні Веррі (Giovanni Verri) [79, 80]. У публікаціях Робіна і Джіджі Вільямсів (Robin Williams, Gigi Williams) [86], Томаса Муна (Thomas Moon) [55] та Чечілії Паоліні (Cecilia Paolini) [60] наведені основні етапи впровадження методу хибнокольорових зображень в ІЧ-променях у реставраційну та дослідницьку практики. Статті Герта Верхувена (Geert Verhoeven) [77] та Чарльза Фалько (Charles Falco) [33] присвячені вивченню характеристик та можливостей застосування цифрових фотокамер для фотофіксації об'єктів культурної спадщини в ближньому ІЧ-діапазоні. Сучасні наукові підходи до досліджень в ІЧ-діапазоні, зокрема із застосуванням технічної фотографії та мультиспектральних систем візуалізації для отримання мап пігментів, представлені у роботах Антоніно Косентіно [21–23], Рафаелли Фонтана (Raffaella Fontana) [35], Елізабет Вебб (Elizabeth Webb) [84] та Клаудії Даффара (Claudia Daffara) [26]. У працях українських дослідників питання становлення, розвитку і сучасних тенденцій використання ІЧ-випромінювання при проведенні експертизи об'єктів культурної спадщини досі залишалося поза увагою.

Мета статті – дослідити та виявити основні історичні етапи еволюції дослідження творів мистецтва в інфрачервоному діапазоні, окреслити сучасні тенденції та можливості використання ІЧ-випромінювання при проведенні експертизи.

Методологія дослідження ґрунтується на комплексному науковому підході, який спирається на принципи історизму, загального зв'язку та взаємозалежності, об'єктивності, конкретності й структурності, застосовує загальнологічні методи наукового пізнання, зокрема узагальнення, синтезу, індукції та дедукції.

Наукова новизна. Вперше розглядається еволюція застосування інфрачервоного випромінювання при проведенні експертизи творів мистецтва; показано, що удосконалення та розширення можливостей аналізу в ІЧ-діапазоні обумовлені розвитком техніки та технології проведення досліджень. Переосмислюється європейський досвід щодо використання методів дослідження в ІЧ-випромінюванні при вивченні об'єктів культурної спадщини.

Практичне значення. Інформація, наведена у статті, сприяє глибшому розумінню еволюції розвитку досліджень творів мистецтва в ІЧ-діапазоні, розширює уявлення про можливості практичного застосування методу при проведенні експертизи, що може бути корисним для

українських дослідників та науковців, зокрема мистецтвознавців, реставраторів та освітян.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інфрачервоне випромінювання (від лат. *infra* – нижче) є невидимою частиною електромагнітного спектра, що охоплює спектральний діапазон між червоною межею видимого світла та мікрохвильовим випромінюванням і широко використовується при проведенні експертизи творів мистецтва.

Інфрачервоні промені були відкриті Вільямом Гершелем (William Herschel; 1738–1822) у 1800 р. [51; 40, 86; 29]. Зазвичай інфрачервону область спектра поділяють на п'ять діапазонів. У наукових джерелах не існує єдиної думки щодо точних меж ІЧ-діапазонів – у різних публікаціях вказують різні довжини хвиль [19; 107A, 39; 48, 50; 296, 52; 41]: ближній інфрачервоний діапазон (near-infrared, NIR) – 700/780–1000/1100 нм, короткохвильовий (short-wave infrared, SWIR) – 1000/1100–2500/3000 нм, середньохвильовий, або середній (middle-wave infrared, MWIR) – 3000–5000/6000 нм, довгохвильовий (long-wave infrared, LWIR) – 5000/6000–14000 нм, дальній (extreme infrared, EIR) – 15000 нм– 10^5 нм). При дослідженні творів мистецтва використовують ближнє та короткохвильове ІЧ-випромінювання.

Взаємодія інфрачервоного випромінювання з неоднорідними системами, зокрема живописними матеріалами, визначається дифузним відбиттям, заломленням, розсіюванням і, у випадку кольорових речовин, специфічним поглинанням певних спектральних областей [51; 42]. При дослідженні в ІЧ-діапазоні фарбових шарів творів живопису, об'єктів на паперовій основі та предметів декоративно-ужиткового мистецтва визначальними факторами є розсіювання та поглинання ІЧ-випромінювання [51; 42]. Згідно з теорією Кубелки-Мунка [51; 42], питомі коефіцієнти розсіювання дисперсних частинок залежать від довжини хвилі випромінювання, що падає, геометрії частинок (діаметр, форма) та різниці показників заломлення пігменту і в'язива. Отже, ступінь прозорості фарбового шару збільшується зі збільшенням довжини хвилі ІЧ-випромінювання, зменшенням товщини шару фарби, кількості частинок пігментів, різниці між показниками заломлення пігменту та в'язива [51; 42]. Це дозволяє застосовувати дослідження в ІЧ-діапазоні для аналізу підготовчих рисунків та виявлення нижніх фарбових шарів.

В експертизі творів мистецтва у відбитих ІЧ-променях застосовують два методи фотофіксації зображень. Перший метод передбачає використання аналогових фотоапаратів та спеціальних плівок із чутливими до ІЧ- випромінювання фотоемульсіями, або цифрових фотокамер. Другий метод заснований на використанні відеокамер, обладнаних електронно-оптичними перетворювачами зображення, що є чутливими до інфрачервоного випромінювання.

Протягом 1890-х рр.–першої чверті ХХ ст. були закладені передумови розвитку ІЧ-фотографічного методу, пов'язані з розробками чутливих до ІЧ-випромінювання фотоемульсій [13, 38; 344]. Відомо, що стандартні фотографічні емульсії на основі галогенів срібла є нечутливими до інфрачервоного випромінювання [52; 44]. У 1873 р. німецький фотограф Герман Вільгельм Фогель (Hermann Wilhelm Vogel; 1834–1898 рр.) встановив, що спектр чутливості фотопластин можна розширити шляхом додавання до складу емульсій галогенів срібла певних барвників-сенсibilізаторів або їхнього нанесення на поверхню фотоматеріалу [13; 216, 73; 109].

Піонером у галузі фотографічного дослідження інфрачервоного спектру вважається Вільям Ебні (William Abney; 1843–1920 рр.) [42; 258–259]. У 1880 р. він сфотографував інфрачервону частину сонячного спектру при довжини хвилі майже 1000 нм за допомогою спеціальної форми броміду срібла, чутливої до ІЧ-випромінювання, емульгованої в колодії [13; 216], проте, такий підхід не набув практичного застосування. У 1904 р. використання барвника ціаніну дозволило сенсibilізувати панхроматичні пластини до довжин хвиль 700 нм [42; 259]. У 1906 р. на заводі фарбових матеріалів Хьохст (Hoechst Dye Works) був представлений диціанін [13; 216], межа чутливості якого в ІЧ-діапазоні досягла 960 нм [42; 259]. Подальше розширення спектрального діапазону фотопластин стало можливим завдяки використанню криптоціаніну – барвника, винайденого у 1919 р. Елліотом Адамсом (Elliot Quincy Adams (1888-1971) і Гербертом Галлером (Herbert L. Haller; 1894-1972 рр.) [13; 216], що мав чутливість до ІЧ-випромінювання в межах 700–800 нм [13; 216]. У 1925 р. Ханс Кларк (Hans Clarke; 1887–1972 рр.) під час приготування криптоціаніну відкрив барвник неоціанін, який у подальшому був випробований як сенсibilізатор. До 1931 р. неоціанін із чутливістю до 910 нм вважався найкращим сенсibilізатором для фотофіксації ІЧ-випромінювання [13; 216]. У 1932 р. стала доступна нова група барвників-сенсibilізаторів – трикарбоціаніни. До 1934 р. Чарльз Едвард Міс (Charles Edward Mees; 1882-1960 рр.), хімік та керівник у дослідницькій лабораторії Kodak (Рочестер, штат Нью-Йорк), розробив похідні трикарбоціаніну – тетра- і пентакарбоціаніни, що дозволило розширити спектральний діапазон чутливості до 1350 нм [42; 259]. До кінця 1930-х рр. практично всі найуспішніші сенсibilізуючі барвники були розроблені великими німецькими фабриками, а з початком Першої світової війни розробки продовжили британські та американські компанії [42; 261].

Оскільки фотокамери для реєстрації ІЧ-зображень мають високу чутливість як в інфрачервоному,

так і видимому діапазоні, при фотофіксації відбувається накладання зображень в обох областях [52; 43]. Щоб розділити ці зображення, необхідно застосувати спеціальні фільтри, що поглинають видиму частину спектра і пропускають інфрачервону. У 1910-х рр. компанією Eastman Kodak Company розроблений желатиновий фільтр Wratten № 87, що пропускав випромінювання у NIR-діапазоні і поглинав до 96% видимого світла [11; 460, 54; 75]. Він швидко зарекомендував себе як найефективніший з наявних на ринку фільтрів для ІЧ-фотофіксації та залишається таким дотепер [52; 43, 51].

Перші інфрачервоні фотографії були опубліковані в 1910 р. у «Фотографічному журналі» Королівського фотографічного товариства американським фізиком Робертом Вудом (Robert Wood; 1868–1955 рр.) [50; 296, 87]. Знімки Вуда були зроблені на експериментальну плівку [46; 5], сенсibilізовану емульсіями на основі криптоціаніну [27; 6]. Подальші розробки та дослідження у галузі фотофіксації в ІЧ-діапазоні пов'язані з іменем Волтера Кларка (Walter Clark; 1899–1991 рр.), який працював у дослідницькій лабораторії Kodak (Рочестер, штат Нью-Йорк) [27; 7]. Він брав участь у розробці інфрачервоної плівки та співпрацював з військово-повітряним корпусом армії США над створенням чутливого в ІЧ-випромінюванні матеріалу для повітряного спостереження [46; 5]. У 1934 р. опублікована перша робота Кларка про використання інфрачервоної фотографії [16], у якій він описує підходи до фотофіксації в ІЧ-діапазоні (вибір фотокамер, об'єктивів, фільтрів та сенсibilізованих емульсій) та можливості використання отриманих ІЧ-зображень у медицині, криміналістиці та палеонтології. У 1939 р. Кларком опублікована монографія [17], де описані загальні принципи фотофіксації в інфрачервоному діапазоні, джерела ІЧ-випромінювання, значення інфрачервоної фотографії для різних видів досліджень, а також деякі загальні характеристики інфрачервоного випромінювання та його взаємодію з різними матеріалами.

У музейній дослідницькій практиці інфрачервоне випромінювання тривалий час не знаходило застосування. Початок розвитку досліджень творів мистецтва у NIR-діапазоні (700–1000 нм) відносять до 1930-х рр., коли інфрачервону фотографію для аналізу живописних творів використали науковці відділу технологічних досліджень Музею Фогга [44]. У 1934 р. Аркадіус Р. Ліон (Arcadius R. Lyon; 1885–1954 рр.) запропонував комбінувати інфрачервоні пластинки зі світлофільтром, здатним пропускати тільки інфрачервоні промені [49]. Він використав порівняльний аналіз фотографій, виконаних у видимому, ультрафіолетовому та інфрачервоному діапазонах спектра, і констатував відмінність в тоні для однакових за кольором пігментів, що проявляється в інфрачервоних променях. Ліон створив палітру кольорів, яка складалася зі зразків фарб на основі різних типів в'язива (гуміарабік, яєчна темпера, тваринний клей та олія), і дослідив ступінь проникнення ІЧ-випромінювання для різних пігментів. Пізніше аналогічне дослідження було здійснене Марі Фарнсворт (Marie Farnsworth; 1895–1991 рр.) у 1938 р. [34].

Однією з перших публікацій, де наводяться фотографії живописних творів у ближньому ІЧ-діапазоні, є монографія «З лабораторії Національної галереї» [66], у якій Френсіс Роулінз (Francis Rawlins; 1895–1969 рр.) порівнює фотографії, отримані у видимому світлі, з рентгенограмами та зображеннями, створеними в інфрачервоних променях. Він же запропонував використовувати фотофіксацію в ІЧ-діапазоні для документування картин, вкритих напівпрозорим деструктурованим лаком, та виявлення підготовчих рисунків [65]. Дослідження творів живопису в ІЧ-випромінюванні з метою вивчення живописної техніки художників було виконане Шелдоном Кеком (Sheldon Keck; 1910–1993) у 1941 р. [44]. У 1939 р. у Німеччині Фрідріх Мюллер-Шкюльд (Friedrich Müller-Skjold; 1899–1962 рр.) описав результати експериментальних інфрачервоних зйомок та довів, що ефективність ІЧ-фотографії значно збільшується з використанням сенсibilізованих плівок, максимум спектральної чутливості яких лежить у різних зонах [57].

Отже, до кінця 1930-х рр. освоєно техніку фотографування творів живопису в NIR-області за допомогою сенсibilізованих фотоемульсій і розроблено методологію дослідження. Тоді ж відзначено, що за допомогою фотофіксації картин у відбитому ІЧ-випромінюванні можна виявити підготовчі рисунки та здійснити попередню ідентифікацію пігментів фарбового шару.

До 1950-х рр. інфрачервона фотографія стала відносно рутинним методом дослідження живописних творів. У 1970-х рр. для фотофіксації у ближньому ІЧ-випромінюванні були доступні різноманітні інфрачервоні плівки у всіх поширених формах [52], проте у подальші роки відбувся занепад ІЧ-фотографії внаслідок складних умов зберігання плівок (від -18 до -23°C [73; 110]) та розвитку нових технологій дослідження. На початку ХХІ ст. у Європі залишилися доступними лише дві чорно-білі та одна кольорова інфрачервоні емульсії для ІЧ-фотографій виробництва компаній Kodak (США) і Konica (Японія) [52; 44–45].

Обмеження чутливості комерційно доступних фотоемульсій для ІЧ-фотографії в NIR-області [76; 104] призвело до спроб використання в експертизі творів мистецтва фотоелектронних пристроїв із приймачами, чутливими у нефотографічній спектральній сфері (1000–2000 нм). Під час Другої світової війни у ряді країн для потреб армії були розроблені електронно-оптичні перетворювачі ІЧ-випромінювання, що використовувалися для візуального спостереження в інфрачервоній області

(прилади нічного бачення) [69; 74]. У подальшому різні конструкції цих приладів отримали застосування в музейній роботі [14, 18, 73, 76].

Наприкінці 1960-х рр. голландський фізик Йоган ван Асперен де Бур (Johan van Asperen de Boer; 1935–2020 рр.) запровадив використання нової техніки детектування зображень в ІЧ-діапазоні та заклав теоретичні і експериментальні основи методу інфрачервоної рефлектографії [74–76]. У 1968 р. він встановив [75], що для багатьох пігментів максимум пропускання ІЧ-випромінювання припадає на короткохвилову інфрачервону область (SWIR). При більшій довжині хвилі (2800–3500 нм) відбувається значне збільшення поглинання в'язивом фарб і, відповідно, зменшуються прозорість фарбових шарів та їхній коефіцієнт контрастності. Для отримання зображень у відбитому ІЧ-випромінюванні Асперен де Бур використав камеру Барнса (Barnes Infra-red Camera), обладнану детектором на основі сульфиду свинцю – прилад, розроблений для реєстрації тепла при термографічних дослідженнях [75; 1712]. У подальшому він запровадив використання промислової телевізійної камери з чутливим до SWIR-випромінювання відеоприймачем (відіконовою трубкою) як інструменту для виявлення підготовчих рисунків на картинах [76]. Для диференціації методу ІЧ-фотографізації в NIR-діапазоні та техніки отримання зображень у SWIR-діапазоні за допомогою фотоелектронних пристроїв Ван Асперен де Бур запропонував ввести у дослідницьку практику термін «інфрачервона рефлектографія» (infra-red reflectography, IRR) [76; 96].

Протягом 1970–1980-х рр. системи на основі електронно-променевих трубок (відікони) для ІЧ-рефлектографії творів мистецтва почали широко використовуватися у музеях [67; 278]. До кінця 1980-х рр. поширеною практикою оцифрування, обробки і збереження сигналу з відеокamer відіконів була фотофіксація зображень, що виводилися на монітор, аналоговою камерою на чорно-білу плівку [85].

Донедавна удосконалені системи відіконів із детекторами на основі оксиду свинцю та сульфиду свинцю (чутливість до 1900 нм) залишалися найпоширенішим обладнанням для отримання ІЧ-рефлектограм, оскільки поєднували в собі високу проникаючу здатність із низькою ціною та простотою у використанні [36; 293]. Недоліками відіконів є низькі світлочутливість та контрастність зображень, геометричні спотворення, зумовлені об'єктивом камери та її внутрішніми характеристиками, і невисока роздільна здатність, що вимагає при дослідженні послідовної фотофіксації ділянок невеликого розміру (10x10 см²) та подальшого їхнього об'єднання у мозаїку [36; 293]. Такі процедури збирання зображень широко використовуються в астрономії та супутниковому картографуванні і були застосовані для оцифрованих інфрачервоних рефлектограм картин наприкінці 1980-х рр. [85]. У подальшому процедури захоплення, корекції, збирання та балансування зображень були вдосконалені завдяки модифікаціям стандартного обладнання і програмного забезпечення [10, 14].

На початку 1970-х рр. для військової промисловості були розроблені твердотільні камери (solid-state devices, SSD) на основі кремнієвих детекторів, чутливі до випромінювання в ближньому інфрачервоному діапазоні [36; 293, 52; 43, 67; 278, 68; 81, 82; 129]. Завдяки вищій чутливості та більшій роздільній здатності, використання твердотільних камер в ІЧ-рефлектографічних дослідженнях дозволило отримувати зображення з набагато кращими характеристиками, оскільки геометричні спотворення були зумовлені лише об'єктивом камери [36; 293].

У 1990-х рр. у наукових колах стали доступними фокально-площинні фотодіодні матриці (ФПМ, focal plane photodiode arrays, FPA) з твердотільними детекторними матеріалами на основі силіциду платини (PtSi, чутливість в області 1200–5000 нм) [15; 345, 19; 107A] та арсеніду індію-галію (InGaAs; чутливість в області 1000–2500 нм) [15; 345]. Незважаючи на свою високу вартість, вони знайшли широке застосування у музейній практиці завдяки удосконаленню можливостей виявлення особливостей підготовчих рисунків живописних творів через чутливість в області 1700–5000 нм. Однак для відтворення картин великого розміру зберігалася необхідність отримання значної кількості зображень та створення їхньої мозаїки [36; 293]. На початку 1990-х рр. були розроблені прилади для отримання ІЧ-рефлектограм, що базувалися на принципі сканування поверхні картини або її частини точковим детектором, чутливим до інфрачервоного випромінювання [9, 61]. Указані підходи (складання мозаїки та сканування за допомогою точкового детектор) мають два основні недоліки [67; 278]: по-перше, створення мозаїки ІЧ-зображення картини є тривалим процесом (до декількох днів); по-друге, обладнання, необхідне для сканування точковим сенсором або камерою всієї поверхні картини, як правило, важке і габаритне.

У 2006 р. у Національній галереї в Лондоні (Великобританія) для дослідження творів мистецтва була розроблена скануюча інфрачервона система візуалізації — камера SIRIS (Scanning Infrared Imaging System) [40; 364–375, 67], комерційно доступна як модель OSIRIS від компанії Opus Instruments [59]. Камера OSIRIS дозволила отримувати зображення з високою роздільною здатністю в ближній інфрачервоній області (900–1700 нм). Камера базується на комерційно доступному датчику на основі матриці з арсеніду індію та індію розміром 320x256 пікселів та має програмне забезпечення, що використовується для управління захопленням зображення і для складання окремих кадрів у безшовне мозаїчне зображення. У 2023 р.

компанією Opus Instruments оголошено про припинення випуску камери Osiris через майбутні зміни в операційній системі Windows, застарілі драйвери та апаратне забезпечення, що ускладнює обслуговування камери [59]. Її було замінено удосконаленою моделлю Apollo (Opus Apollo Infrared Reflectograph), представленою в 2018 р. [29], що використовує внутрішній скануючий механізм для створення високоякісних інфрачервоних рефлектограм високої роздільної здатності (до 26 Мр) та має більший динамічний діапазон у порівнянні з попередньою моделлю, що забезпечує кращу якість зображення.

Подальший розвиток дослідження творів мистецтва у ближньому ІЧ-діапазоні пов'язаний з появою у 1990-х рр. цифрових фотокамер (digital still cameras, DSCs) [33, 37, 77]. На відміну від аналогових фотоапаратів, цифрові камери оснащені цифровим датчиком зображення для зйомки фотографій та накопичувачем для збереження отриманих зображень у цифровому вигляді. Окрім відомих переваг у отриманні, зберіганні, маніпулюванні та пошуку цифрових зображень, цифрові камери роблять фотофіксацію в інфрачервоному діапазоні набагато зручнішою.

Основою цифрових сенсорів сучасних цифрових камер є комплементарна матриця метал-оксид-напівпровідник (complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS) на основі кремнію для перетворення енергії вхідних фотонів в електронний заряд, який потім обробляється для формування файлу для кожного зображення [33]. Поглинання світла кремнієм відбувається при довжині хвилі до 1110 нм [33; 2], що робить CMOS-матриці корисними для застосування в ІЧ-фотографічних дослідженнях. Основним недоліком цифрових камер є наявність вбудованих захисних (бар'єрних) ІЧ-фільтрів [33; 2], оскільки чутливість сенсорів у NIR-діапазоні призводить до хибної передачі кольорів. Такі камери не можуть бути використані для дослідження в ІЧ-діапазоні і потребують модифікації. У 2001 р. компанія Sony випустила свою першу фотокамеру Cyber-shot DSC-F707 (5 Мр), оснащену технологією «нічна зйомка» («Night Shot») [37; 211], при використанні якої ІЧ-захисний фільтр видаляється механічно [52; 50]. У подальшому Sony розширила лінійку камерами з кращими характеристиками та більшою роздільною здатністю (Sony DSC-F717 та Sony DSC-F828, 5Мр та 8Мр відповідно). Наразі на ринку доступні модифіковані камери, що пропонуються виробниками та науковими установами для спеціалізованих досліджень [25, 70]. Компанія Proficolore уклала ексклюзивну угоду з Nikon Italia/Nital, спрямовану на спільне проєктування модифікованих повнокадрових камер із повним діапазоном, які використовуються у високоточних колориметричних і мультиспектральних системах зйомки з високою роздільною здатністю [63].

Початок ХХІ ст. характеризується поширенням доступних цифрових фотокамер і значним прогресом у комп'ютерних технологіях обробки зображень [77]. Можливості і практичні аспекти техніки фотофіксації в ІЧ-діапазоні за допомогою модифікованих цифрових камер, переваги та обмеження методу при дослідженні творів мистецтва описані у працях [7, 33, 39, 77].

Поряд із дослідженнями творів мистецтва у відбитому ІЧ-випромінюванні у наукові практики використовують аналіз у наскрізних ІЧ-променях, методи інфрачервоної люмінесценції та хибнокольорових зображень в ІЧ-діапазоні.

Метод дослідження живописних та графічних творів у наскрізному інфрачервоному світлі (Transmitted Infrared, TIR) заснований на тому, що тонкі основи органічного походження (полотно та папір) і більшість наповнювачів у складі ґрунтів характеризуються невисоким поглинанням та розсіюванням ІЧ-випромінювання [47]. При проведенні експертизи об'єкт розміщується між джерелом ІЧ-світла і камерою, що фіксує інфрачервоне випромінювання, що проходить крізь шари основи, ґрунту та фарбового шару твору. Отримане зображення може бути використане для оцінки характеристик та стану збереження основ, виявлення підготовчих рисунків та підмальовків, вивчення живописного стилю художника або техніки виконання роботи [1; 8, 3; 22, 24; 87].

Уперше дослідження у наскрізному інфрачервоному світлі застосовано у 1977 р. для ідентифікації штампа на звороті картини, прихованого дублюючим полотном [20]. У середині 1980-х рр. Ден Кушель (Dan Kushel) запропонував методику застосування наскрізного SWIR-випромінювання при проведенні експертизи творів живопису на полотняній основі для виявлення нижніх живописних шарів та авторських змін композиції [47]. Кушель сформулював теоретичні засади TIR-методу та продемонстрував, що аналіз у наскрізному ІЧ-світлі може бути ефективнішим, ніж у бічному ІЧ-випромінюванні та рентгенографія [47].

До кінця ХХ ст. дослідження у наскрізному ІЧ-випромінюванні використовувалися обмежено через ризик перегріву твору та можливе викривлення зображення при експонуванні плівки протягом тривалого проміжку часу [24; 84]. З появою доступних цифрових фотокамер, що характеризуються високою чутливістю і швидкістю реакції, та удосконаленням джерел інфрачервоного випромінювання TIR-метод набув широкого використання в експертизі живописних та графічних творів [24, 56]. Подальші дослідження науковців спрямовані на удосконалення методу та вивчення можливостей його застосування для попередньої ідентифікації пігментів фарбового шару [43].

Перші дослідження люмінесценції органічних речовин в ІЧ-діапазоні, що виникає під дією

видимого світла, були проведені Шарлем Дєре (Charles Dhéré; 1876–1955 pp.) у 1930-х р. [30]. У 1963 р. Чарльз Бріджмен (Charles Bridgman) та Генрі Гібсон (Henry Gibson; 1906–1992 pp.) [12] запропонували термін «інфрачервона люмінесценція» (infrared luminescence, IRL) для опису явища емісії (випромінювання) інфрачервоної флуоресценції при збудженні речовин синьо-зеленим світлом, навели умови проведення досліджень та опублікували результати аналізу художніх пігментів за допомогою цього методу. У подальших працях було показано, що інтенсивну ІЧ-люмінесценцію при збудженні видимим світлом демонструють єгипетська синя, ханський синій та ханський фіолетовий [62], кадмій жовтий та кадмій червоний [12, 28]. До початку XXI ст. IRL-метод в експертизі творів живопису та графіки широко не використовувався, що пов'язано з його обмеженою інформативністю та складністю проведення досліджень. Із появою доступних та зручних модифікованих цифрових камер метод широко використовується у дослідженнях з метою недеструктивної ідентифікації ІЧ-люмінесцентних пігментів [64, 72, 78]. У 2009–2010-х рр. методика фотофіксації ІЧ-люмінесценції була удосконалена Джованні Веррі (Giovanni Verri), який запропонував використовувати систему камер, оснащених імпульсними ксеноновими лампами (для випадків, коли є неможливою зйомка об'єкту зі штативом або у повністю затемненому приміщенні) [79], та комерційно доступні світлодіоди [81]. Останні дослідження показали [45], що аналіз зображень ІЧ-люмінесценції, індукованої ультрафіолетовими променями, дозволяє розрізнити титанове білило у формі анатазу та рутилу.

Технологія отримання хибнокольорової фотографії в інфрачервоному діапазоні (false-color infrared, FCIR) була розроблена компанією Kodak під час Другої світової війни для розпізнавання та викриття маскування [86; 56–57]. Перші розробки були здійснені на початку 1940-х рр. Дугласом Спенсером (Douglas Spencer; 1901–1979 pp.) та Ентоні Марридж (Anthony Marriage) з дослідницької лабораторії Kodak у Лондоні, які проводили експерименти з поєднання інфрачервоних і панхроматичних емульсій з кольоровою обробкою [8; 12]. Подальші дослідження у лабораторії Kodak у США здійснювалися групою вчених на чолі з Леопольдом Маннесом (Leopold Mannes; 1899–1964 pp.) та Волтером Кларком (Walter Clark; 1899–1991 pp.) і завершилися появою тришарових фотоплівок Kodacolor Aero-Reversal-Film (використовувалися військово-повітряними силами США для розпізнавання камуфляжу) [86; 57]. На відміну від звичайних тришарових кольорових плівок, чутливих до синього, зеленого та червоного кольорів, шари Kodacolor Aero-Reversal-Film мали чутливість до зеленого, червоного та інфрачервоного випромінювання [51; 46]. Оскільки ця плівка додає інфрачервоний компонент до запису видимого світла, зелені або червоні барвники з однаковим або схожим у видимому діапазоні кольорами при фотофіксації мають різні відтінки, якщо вони по-різному поглинають або відбивають інфрачервоне випромінювання [51; 46]. У 1962 р. розроблено плівку Kodak Ektachrome Aero Film [58], що зробило методику отримання хибнокольорових зображень в ІЧ-діапазоні доступною для широкого кола дослідників. Сучасною версією цієї плівки є професійна інфрачервона плівка Ektachrome Professional Infrared EIR.

У 1970 р. Чарльз Олін (Charles Olin; 1933–2023 pp.) та Томас Картер (Thomas Carter) запропонували використовувати плівку Kodak Ektachrome для попередньої ідентифікації пігментів та виявлення реставрацій [58]. У 1978 р. Мауро Маттеїні (Mauro Matteini) опублікував результати дослідження пігментів, лаків і в'язива живописних творів FCIR-методом [53]. Пізніше Альфредо Альдрованді (Alfredo Aldrovandi) дослідив здатність електронно-оптичних перетворювачів (відікон) відтворювати результати FCIR-фотоплівок [6], використавши послідовний запис трьох зображень, їхнє оцифрування та наступне поєднання для отримання триколірного зображення. Незважаючи на простоту використання та широкий спектр можливостей методу, до 1990-х рр. FCIR-метод не набув значного поширення через низький ступінь відтворюваності результатів дослідження. У 1990-х рр. основна увага науковців була спрямована на розробку методології фотофіксації на плівку хибнокольорових зображень в ІЧ-діапазоні, визначення оптимальних параметрів освітлення, фільтрів, умов зберігання плівки та пост-експозиційного контролю [55]. З кінця XX ст. із появою цифрової фотографії метод отримання хибнокольорової фотографії в інфрачервоному діапазоні систематично використовується при дослідженні творів живопису та графіки. Процес полягає у використанні програм для обробки цифрових зображень (графічні редактори, зокрема Adobe Photoshop) для комбінування у графічному редакторі трьох RGB-каналів зображень об'єкта у видимому світлі (червоний, зелений і синій) та каналу чорно-білого зображення, отриманого в ІЧ-діапазоні.

Останнє десятиліття відзначається розвитком методу мультиспектральної візуалізації, або технічної фотографії (Technical Photography). Метод заснований на фотофіксації твору у різних діапазонах спектра за допомогою модифікованої цифрової камери (360–1100 нм) із використанням відповідних джерел освітлення та фільтрів. Подальший аналіз отриманих зображень дає можливість визначити області реставрації, виявити підготовчі рисунки та встановити особливості авторської техніки створення роботи, виконати попередню ідентифікацію пігментів фарбового шару. Метод уперше був запропонований для дослідження об'єктів культурної спадщини на початку 1990-х рр.

[48; 310] і набув поширення на початку ХХІ ст. У 2010-х рр. був виданий ряд посібників з технічної фотографії [31- 32, 83], що містять детальну інформацію та рекомендації з методології проведення досліджень творів мистецтва, зокрема характеристики обладнання, протоколи фотофіксації у різних діапазонах спектра та обробки отриманих зображень. Подальший розвиток дослідження спрямований на вивчення можливостей практичного застосування технічної фотографії та удосконалення методології мультиспектральної візуалізації як перспективного інструменту при проведенні експертизи та атрибуції об'єктів культурної спадщини [21-23, 41].

Висновки. У статті розглянуті та проаналізовані основні історичні етапи еволюції дослідження творів мистецтва в інфрачервоному діапазоні від відкриття ІЧ-променів, появи сенсibilізованих фотоплівок, розробки методології та її впровадження у музейну дослідницьку практику до застосування цифрових фотокамер, комп'ютерних технологій і розвитку методу мультиспектральної візуалізації. Наведені принципи дії та можливості методів ІЧ-фотографії та ІЧ-рефлектографії у відбитому та наскрізному ІЧ-випромінюванні, методів інфрачервоної люмінесценції та хибнокольорових зображень в ІЧ-діапазоні, окреслені сучасні тенденції та можливості використання ІЧ-випромінювання при проведенні експертизи творів мистецтва.

Перспективи подальших досліджень спрямовані на застосування сучасних можливостей дослідження живописних і графічних творів в інфрачервоному діапазоні при вивченні об'єктів культурної спадщини з колекцій музеїв України.

Список використаної літератури

1. 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 : метод. пос.* Київ : Вид-во «Фенікс», 2019. 40 с.
2. 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.
3. Андріанова О., Біскулова С., Перевальський В., Чуєва К., Шостак О. Технологічні дослідження творів європейської графіки з колекції музею Ханенків. *Наука. Мистецтво. Студії. Освіта: метод. пос.* Київ : Фенікс, 2020. 64 с.
4. Тимченко Т. Р. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис (історія та методологія): *навч. пос.* Київ : НАКККІМ, 2017. 120 с.
5. Цитович В. І. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис : (методологія та практика): *навч. пос.* Київ : НАКККІМ, 2018. 232 с.
6. Aldrovandi A., Bertani D., Cetica M., Matteini M., Moles A., Poggi P., Tiano P. Multispectral Image Processing of Paintings. *Studies in Conservation*. 1988. Vol. 33, № 3, P. 154–159. doi: 10.2307/1506208.
7. Arslanoglu J., Centeno S., Digney-Peer S., Duvernois I. «Picasso in the Metropolitan Museum of Art»: An investigation of materials and techniques. *Journal of the American Institute for Conservation*. 2013. Vol. 52, № 3. P. 140–155. doi: 10.1179/1945233013Y.0000000007.
8. Begleiter S. H. The Art of Color Infrared Photography. Buffalo, N.Y. : Amherst Media, 2001. 126 p.
9. Bertani D., Cetica M., Poggi P., Puccioni G., Buzzegoli E., Kunzelman D., Cecchi S. A scanning device for infrared reflectography. *Studies in Conservation*. 1990. Vol. 35, № 3. P. 113–116. doi: 10.1179/sic.1990.35.3.113.
10. Billinge R., Cupitt J., Dessipris N., Saunders D. A note on an improved procedure for the rapid assembly of infrared reflectogram mosaics. *Studies in Conservation*. 1993. Vol. 38, № 2. P. 92–98. doi: 10.1179/sic.1993.38.2.92.
11. Blout E. R., Amon W. F., Shepherd R. G., Thomas A., West C. D., Land E. H. Near Infra-Red Transmitting Filters. *Journal of the Optical Society of America*. 1946. Vol. 36, № 8, P. 460–464. doi: 10.1364/JOSA.36.000460.
12. Bridgman Ch. F., Gibson H. L. Infrared luminescence in the photographic examination of paintings and other art objects. *Studies in conservation*. 1963. Vol. 8, № 3. P. 77–83. doi: 10.1179/sic.1963.012.
13. Brooker L. G. S., Hamer F. M., Mees C. E. K. Recent Advances in Sensitizers for the Photography of the Infrared. *Journal of the Optical Society of America*. 1933. Vol. 23, № 6. P. 216–222. doi: 10.1364/josa.23.000216.
14. Burmester A., Bayerer F. Towards improved infrared reflectograms. *Studies in Conservation*. 1993. Vol. 38, № 3. P. 145–154. doi: 10.1179/sic.1993.38.3.145.
15. Casini A., Lotti F., Picollo M. Imaging Spectroscopy for the Non-invasive Investigation of Paintings. *International Trends in Optics and Photonics*. Springer Series in Optical Sciences. Vol. 74 / Ed. T. Asakura. Berlin, Heidelberg : Springer, 1999. P. 343–356. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48886-6_22.
16. Clark W. Infrared photography. *Journal of the Biological Photographic Association*. 1934. Vol. 2. № 3. P. 119–129. URL: https://archive.org/details/sim_journal-of-biological-photography_1933-1934_2_1-4/page/118/mode/2up.
17. Clark W. Photography by infrared: its principles and applications. New York: John Wiley; London : Chapman & Hall, 1939. 397 p.
18. Coddington J., Siano S. Infrared imaging of twentieth-century works of art. *Studies in Conservation*. 2000. Vol. 45 (sup1). P. 39–44. doi: 10.1179/sic.2000.45.supplement-1.39.
19. Colarusso P., Kidder L. H., Levin I. W., Fraser J. C., Arens J. F., Lewis E. N. Infrared spectroscopic imaging: from planetary to cellular systems. *Applied Spectroscopy*. 1998, Vol. 52, № 3. P. 106A–120A. doi: 10.1366/0003702981943.

20. Cornelius F. D. Transmitted infrared photography. *Studies in Conservation*. 1977. Vol. 22, № 1. P. 42–44. doi: 10.1179/sic.1977.005.
21. 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. URL: https://www.academia.edu/15609993/Effects_of_Different_Binders_on_Technical_Photography_and_Infrared_Reflectography_of_54_Historical_Pigments.
22. Cosentino A. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*. 2014. Vol. 2, № 8. P. 1–12. doi: 10.1186/2050-7445-2-8.
23. Cosentino A. Infrared Technical Photography for Art Examination. *e-Preservation Science*. 2016. Vol. 13. P. 1–6. https://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2016/ePS_2016_a1_Cosentino.pdf.
24. Cucci C., Piccolo M., Vervat M. Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage*. 2012. Vol. 13, № 1. P. 83–88. doi: 10.1016/j.culher.2011.07.002.
25. Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS. URL: <https://chsopensource.org/full-spectrum-cameras/>.
26. Daffara C., Pampaloni E., Pezzati L., Barucci M., Fontana R. Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics. *Accounts of Chemical Research*. 2010. Vol. 43. № 6. P. 847–856. doi:10.1021/ar900268t.
27. Davies A. Digital Ultraviolet and Infrared Photography. New York : Routledge, 2017. 214 p.
28. De La Rie E. R. Fluorescence of paint and varnish layers (Part 1). *Studies in Conservation*. 1982. Vol. 27, № 1. P. 1–7. doi: 10.1179/sic.1982.27.1.1.
29. Delivering our vision of strategic growth. Scientific Digital Imaging plc. Annual Report and Accounts. 2018. 74 p. URL: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/s/LSE_SDI_2018.pdf.
30. Dhere C. (1939). La spectrochimie de fluorescence dans l'étude des produits biologiques. *Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe*. *Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe*. Vol. 2 / Ed. L. Zechmeister. Vienna : Springer. P. 301–341. doi: 10.1007/978-3-7091-7184-4_9.
31. Dyer J., Verri G., Cupitt J. Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual. CHARISMA. 2013. 192 p. URL: www.britishmuseum.org/pdf/charisma-multispectral-imaging-manual-2013.pdf.
32. Edwards G., Oey M. Digital imaging workflow for treatment documentation. Conservation Division, Preservation Directorate Library of Congress. 2018. 201 p. URL: <https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/Docs/Digital%20Imaging%20Workflow.pdf>.
33. Falco C. M. High resolution digital camera for infrared reflectography. *Review of Scientific Instruments*. 2009. Vol. 80, № 7. 071301. doi: 10.1063/1.3174431. https://wp.optics.arizona.edu/falco/wp-content/uploads/sites/57/2016/08/RSI_IRcamera.pdf.
34. Farnsworth M. Infra-red Absorption of Paint Materials. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*. 1938. Vol. 7. № 2. P. 88–98.
35. Fontana R., Barucci M., Dal Fovo A., Pampaloni E., Raffaelli M., Striova J. Multispectral IR Reflectography for Painting Analysis. *Advanced Characterization Techniques, Diagnostic Tools and Evaluation Methods in Heritage Science* / Eds. D. Bastidas, E. Cano. Cham, Switzerland : Springer, 2018. P. 33–47. doi:10.1007/978-3-319-75316-4_3.
36. Fontana R., Bencinia D., Carcagnib P., Grecoa M., Mastroiannia M., Materazzia M., Pampalonia E., Pezzat L. Multi-spectral IR reflectography. *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology*. Vol. 6618 / Eds. Fotakis C., Pezzati L., Salimbeni R. Bellingham, WA: SPIE Press, 2007. P. 292–306.
37. Galal A. M. An analytical study on the modern history of digital photography. *International Design Journal*. 2016. Vol. 6. № 2. P. 203–215.
38. Gavrilov D., Maev R., Almond D. P. A review of imaging methods in analysis of works of art: Thermographic imaging method in art analysis. *Canadian Journal of Physics*. 2014. Vol. 92, № 4. P. 341–364. doi: 10.1139/cjp-2013-0128.
39. Gavrilov D., Maeva E., Grube O., Vodyanoy I., Maev R. Experimental comparative study of the applicability of infrared techniques for non-destructive evaluation of paintings. *Journal of the American Institute for Conservation*. 2013. Vol. 52, № 1. P. 48–60. doi: 10.1179/0197136012Z.0000000002.
40. Gordon D. The fifteenth century Italian paintings. Vol. 1. National Gallery Catalogues. London : National Gallery Company. 2003. 464 p.
41. Hayem-Ghez A., Ravaud E., Boust C., Bastian G., Menu M., Brodie-Linder N. Characterizing pigments with hyperspectral imaging variable false-color composites. *Applied Physics A*. 2015. Vol. 121. P. 939–947. doi: 10.1007/s00339-015-9458-8.
42. Hentschel K. Photochemical Experimentation, Infrared Exploration, and the Turn Towards Photometry. *Mapping the Spectrum: Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*. Oxford : Oxford Academic. 2002. P. 247–289. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198509530.003.0007.
43. Herrero-Cortell M., Artoni P., Raich M. Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: a brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science*. 2020. Vol. 12, № 2. P. 79–88. doi: 10.23738/CCSJ.120210.
44. Keck Sh. A use of infra-red photography in the study of technique. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*. 1941. Vol. 9, № 3. P. 145–152.
45. Keller A. T., Lenz R., Artesani A., Mosca S., Comelli D., Nevin A. Exploring the ultraviolet induced infrared luminescence of titanium white pigments. *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques. Conservation 360⁰* / Eds. M.

- Piccollo, M. Stols-Witlox, L. Fuster-López. Valencia (Spain) : Universitat Politècnica de Valencia. 2019, P. 201–232. <https://doi.org/10.4995/360.2019.110002>. URL: <http://hdl.handle.net/10251/138517>.
46. Klein L., Klein K. Digital Infrared Photography: Artistic Techniques. Buffalo, N.Y. : Amherst Media, 2015. 128 p.
47. Kushel D. A. Applications of transmitted infrared radiation to the examination of artifacts. *Studies in Conservation*. 1985. Vol. 30. № 1. P. 1–10. doi: 10.1179/sic.1985.30.1.1.
48. 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.
49. Lyon R. A. Infra-red radiations aid examination of paintings. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*. 1934. Vol. 2. P. 203–212.
50. MacBeth Rh., Breare C. The technical examination and documentation of easel paintings. *Conservation of easel paintings* / Eds. J. H. Stoner, R. Rushfield. Abingdon, Oxon; New York, NY : Routledge, 2012. P. 302–321. doi: 10.4324/9780429399916-20.
51. Mairinger F. The infrared examination of paintings. *Radiation in Art and Archeometry* / Eds. D.C. Creagh, D.A. Bradley, Amsterdam, The Netherlands : Elsevier, 2000. P. 40–55. doi: 10.1016/B978-044450487-6/50049-3.
52. Mairinger F. UV-, IR- and X-ray imaging. *Non-destructive microanalysis of cultural heritage materials. Comprehensive Analytical Chemistry*, Vol. 42 / Eds. K. H. A. Janssens, R. Grieken. Antwerp: Wilson & Wilson Elsevier, 2004. P. 15–71. doi: 10.1016/s0166-526x(04)80006-0.
53. Matteini M., Moles A., Tiano P. Infrared Colour Films as an Auxiliary Tool for the Investigation of Paintings. *ICOM Committee for Conservation 5th Triennial Meeting, Zagreb*. Rotterdam : Bouwcentrum. 1978. P. 78/1/3–78/1/4. URL: https://archive.org/details/gri_33125001869656/page/n133/mode/2up?q=Matteini.
54. Mees C. E. K. The Photography Of Colored Objects. Rochester, N. Y.: Eastman Kodak Co. 1919. 113 p.
55. Moon Th., Schilling M. R., Thirkettle S. A note on the use of false-color infrared photography in conservation. *Studies in conservation*. 1992. Vol. 37. № 1. P. 42–52. doi: 10.2307/1506436.
56. Moutsatsou A., Skapoula D., Doulgeridis M. The contribution of transmitted infrared imaging to non-invasive study of canvas paintings at the National Gallery–Alexandros Soutzos Museum, Greece. *E-conservation magazine*. 2011. Vol. 22. P. 53–61.
57. Müller-Skjold F., Schmitt H., Wehlte K. Gemäldephotographie im Licht verschiedener Wellenlängen. *Zeitschrift für angewandte Photographie*, 1939. № 5/6, S. 125–140.
58. Olin Ch. H., Thomas G. C. Infrared color photography of painting materials. *IIC-American group Technical Papers*. 1970. P. 27–28. URL: <https://mci.si.edu/node/1170361>.
59. Opus Instruments. URL: <https://www.opusinstruments.com/cameras/osiris-camera/>.
60. Paolini C. The diagnostic technique of False Colour and the application of Artificial Intelligence for its interpretation. *Finais Collection*. Vol. 3. / Ed. R. Kunz, A. Ghazarian. Zurigo : Finais, 2022. P. 15–17. URL: https://elearning.unite.it/pluginfile.php/259308/mod_resource/content/1/3%20VOL_PRINT%20CP%20AI.pdf.
61. Pezzati L., Materazzi M., Poggi P. IR-colour scanning reflectography. *The Painting Technique of Pieretro Vannucci, called il Perugino* / Eds. B. Brunetti, C. Seccaroni and A. Sgamellotti. Florence : Nardini Editore, 2004. P. 65–70.
62. Pozza G., Ajò D., Chiari G., De Zuane F., Favaro M. Photoluminescence of the inorganic pigments Egyptian blue, Han blue and Han purple. *Journal of Cultural Heritage*. 2000. Vol. 1, № 4. P. 393–398. doi: 10.1016/S1296-2074(00)01095-5.
63. Profilocolore Ltd. URL: <https://www.profilocolore.com/modified-cameras/>
64. Ramadan S., Mahgoub G., ElHagrassy A., Mertah E. Investigation and Characterization of Two Painted Limestone Stelae, Egyptian Museum, Cairo, Egypt. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2022. Vol. 65. № 8. P. 85–96. doi: 10.21608/ejchem.2022.102211.4747.
65. Rawlins F. I. G. A novel infra-red camera for art gallery work. *The museums journal*. 1938. Vol. 38. P. 186–188.
66. Rawlins F. I. G. From the National Gallery Laboratory. London : National Gallery, 1940. 50 p.
67. Saunders D., Billinge R., Cupitt J., Atkinson N., Liang H. A new camera for high-resolution infrared imaging of works of art. *Studies in conservation*. 2006. Vol. 51, № 4. P. 277–290. doi: 10.1179/sic.2006.51.4.277.
68. Silverman J., Mooney J. M., Shepherd F. D. Infrared Video Cameras. *Scientific American*. 1992. Vol. 266, № 3. P. 78–83. doi:10.1038/scientificamerican0392-78.
69. Sizov F. Brief history of THz and IR technologies. *Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics*. 2019. Vol. 22, № 1. P. 67–79. <https://doi.org/10.15407/spqeo22.01.67>.
70. Spencer's Camera & Photo. URL: <https://www.spencerscamera.com/full-spectrum-cameras.cfm>.
71. Stuart B. H. Analytical techniques in materials conservation. Chichester, England : John Wiley & Sons, 2007. 424 p.
72. Thoury M., Delaney J. K., De La Rie E. R., Palmer M., Morales K., Krueger J. Near-infrared luminescence of cadmium pigments: in situ identification and mapping in paintings. *Applied Spectroscopy*. 2011. Vol. 65. № 8. P. 939–951. doi : 10.1366/11-06230.
73. Van Asperen de Boer J. R. J. Examination by infrared radiation. *Scientific Examination of Easel Paintings: Art History and Laboratory Part 13* / Ed. R. van Schoute, H. Verougstraete-Marcq. Strasbourg : Council of Europe, Parliamentary Assembly, 1986. P. 109–130.
74. Van Asperen de Boer J. R. J. Infrared reflectograms of panel paintings. *Studies in Conservation*. 1966. Vol. 11, № 1. P. 45–46. doi:10.1179/sic.1966.005.
75. Van Asperen de Boer J. R. J. Infrared reflectography: a method for the examination of paintings. *Applied Optics*. 1968. Vol. 7. № 9. P. 1711–1714. doi: 10.1364/ao.7.001711.

76. Van Asperen de Boer J. R. J. Reflectography of paintings using an infrared Vidicon television system. *Studies in Conservation*. 1969. Vol. 14, № 3. P. 96–118. doi:10.1179/sic.1969.010.
77. Verhoeven G. Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography. *Journal of Archaeological Science*. 2008, Vol. 35. № 12. P. 3087–3100. doi: 10.1016/j.jas.2008.06.012.
78. Verri G. The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II*. Vol. 7391 / Ed. L. Pezzati. Bellingham, WA: SPIE Press, 2009. P. 37–48. doi:10.1117/12.827331.
79. Verri G. The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2009. Vol. 394. № 4. P. 1011–1021. doi: 10.1007/s00216-009-2693-0.
80. Verri G., Saunders D. Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *The British Museum Technical Bulletin*. 2014. Vol. 8. P. 83–92.
81. Verri G., Saunders D., Ambers J., Sweek T. Digital mapping of Egyptian blue: conservation implications. *Studies in Conservation*. 2010. Vol. 55(sup2). P. 220–224. doi:10.1179/sic.2010.55.supplement-2.220.
82. Walmsley E., Fletcher C., Delaney J. Evaluation of system performance of near-infrared imaging devices. *Studies in Conservation*. 1992. Vol. 37, № 2. P. 120–131. doi: 10.1179/sic.1992.37.2.120.
83. Warda J. The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation. 2nd Edition. Washington, D.C. : American Institute for Conservation. 2011. 223 p.
84. Webb E. K. Reflected Infrared and 3D Imaging for Object Documentation. *Journal of the American Institute for Conservation*. 2017. Vol. 56, № 3–4. P. 211–224. doi: 10.1080/01971360.2017.1359463.
85. Wecksung G., Evans R., Walker J., Ainsworth M., Brealey J., Cariveau G. Assembly of infra-red reflectograms by digital processing using a portable data collecting system. Proceedings of the ICOM Committee for Conservation, 8th Triennial Meeting, Sydney, 6–11 September, 1987. Los Angeles : Getty Conservation Institute, 1987. P. 107–109.
86. Williams R., Williams G. Ultraviolet, infrared & fluorescence photography. 2005. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ultraviolet-%2C-Infrared-%26-Fluorescence-Photography-Williams/ad39e89ba3595d63eaa11f4ba437f21d95ff68fe>.
87. Wood R. A New Departure in Photography. *The Century Magazine. The Century Company*. 1910. Vol. 79, № 4. P. 565–572.

References

1. 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 koleksii Muzeiu Khanenkiv [Science. Art. Studios. Education. Technological research of works of art from the Khanenko Museum collection]. Kyiv : Feniks. [in Ukrainian].
2. Andrianova O. (2020). Tekhnolohichni doslidzhennia v strukturi 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].
3. Andrianova O., Biskulova, S., Perevalskiy, V., Chuieva, K., & Shostak, O. (2020). Tekhnolohichni doslidzhennia tvoriv yevropeiskoi hrafiky z koleksii 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].
4. 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].
5. 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].
6. Aldrovandi A., Bertani, D., Cetica, M., Matteini, M., Mole, A., Poggi P., & Tiano P. (1988). Multispectral Image Processing of Paintings. *Studies in Conservation*, 33(3), 154–159. doi: 10.2307/1506208.
7. Arslanoglu, J., Centeno, S., Digney-Peer, S., & Duvernois I. (2013). «Picasso in the Metropolitan Museum of Art»: An investigation of materials and techniques. *Journal of the American Institute for Conservation*, 52(3), 140–155. doi: 10.1179/1945233013Y.0000000007.
8. Begleiter, S. H. (2001). The Art of Color Infrared Photography. Buffalo, N.Y. : Amherst Media.
9. Bertani, D., Cetica, M., Poggi, P., Puccioni, G., Buzzegoli, E., Kunzelman, D., & Cecchi, S. (1990). A scanning device for infrared reflectography. *Studies in Conservation*, 35(3), 113–116. doi: 10.1179/sic.1990.35.3.113.
10. Billinge, R., Cupitt, J., Dessipris, N., & Saunders, D. (1993). A note on an improved procedure for the rapid assembly of infrared reflectogram mosaics. *Studies in Conservation*, 38 (2), 92–98. doi: 10.1179/sic.1993.38.2.92.
11. Blout, E. R., Amon, W. F., Shepherd, R. G., Thomas, A., West, C. D., & Land E. H. (1946). Near Infra-Red Transmitting Filters. *Journal of the Optical Society of America*, 36(8), 460–464. doi: 10.1364/JOSA.36.000460.
12. Bridgman, Ch. F., & Gibson, H. L. (1963). Infrared luminescence in the photographic examination of paintings and other art objects. *Studies in conservation*. 1963, 8(3), 77–83. doi: 10.1179/sic.1963.012.
13. Brooker, L. G. S., Hamer, F. M., & Mees, C. E. K. (1933). Recent Advances in Sensitizers for the Photography of the Infrared. *Journal of the Optical Society of America*, 23(6), 216–222. doi: 10.1364/josa.23.000216.
14. Burmester, A., & Bayerer, F. (1993). Towards improved infrared reflectograms. *Studies in Conservation*, 38(3), 145–154. doi: 10.1179/sic.1993.38.3.145.

15. Casini, A., Lotti, F., & Piccolo, M. (1999). Imaging Spectroscopy for the Non-invasive Investigation of Paintings. *International Trends in Optics and Photonics*. Springer Series in Optical Sciences (Vol. 74). (pp.343-356). Berlin, Heidelberg : Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48886-6_22.
16. Clark, W. (1934). Infrared photography. *Journal of the Biological Photographic Association*, 2(3), 119-129. URL: https://archive.org/details/sim_journal-of-biological-photography_1933-1934_2_1-4/page/118/mode/2up.
17. Clark, W. (1939). Photography by infrared: its principles and applications. New York: John Wiley; London: Chapman & Hall.
18. Coddington, J., & Siano, S. (2000). Infrared imaging of twentieth-century works of art. *Studies in Conservation*, 45(sup1), 39-44. doi: 10.1179/sic.2000.45.supplement-1.39.
19. Colarusso, P., Kidder, L. H., Levin, I. W., Fraser, J. C., Arens, J. F., & Lewis E. N. (1998). Infrared spectroscopic imaging: from planetary to cellular systems. *Applied Spectroscopy*, 52(3), 106A-120A. doi: 10.1366/0003702981943.
20. Cornelius, F. D. (1977). Transmitted infrared photography. *Studies in Conservation*, 22(1), 42-44. doi: 10.1179/sic.1977.005.
21. 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. URL: https://www.academia.edu/15609993/Effects_of_Different_Binders_on_Technical_Photography_and_Infrared_Reflectography_of_54_Historical_Pigments.
22. 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.
23. Cosentino, A. (2016). Infrared Technical Photography for Art Examination. *e-Preservation Science*, 13, 1-6. https://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2016/ePS_2016_a1_Cosentino.pdf.
24. Cucci, C., Piccolo, M., & Vervat, M. (2012). Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage*, 13(1), 83-88. doi: 10.1016/j.culher.2011.07.002.
25. Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS. URL: <https://chsopensource.org/full-spectrum-cameras/>.
26. Daffara, C., Pampaloni, E., Pezzati, L., Barucci, M., & Fontana, R. (2010). Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics. *Accounts of Chemical Research*, 43(6), 847-856. doi:10.1021/ar900268t.
27. Davies, A. (2017). Digital Ultraviolet and Infrared Photography. New York : Routledge.
28. De La Rie, E. R. (1982). Fluorescence of paint and varnish layers (Part 1). *Studies in Conservation*, 27(1), 1-7. doi: 10.1179/sic.1982.27.1.1.
29. Delivering our vision of strategic growth. Scientific Digital Imaging plc. Annual Report and Accounts. 2018. URL: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/s/LSE_SDI_2018.pdf.
30. Dhere, C. (1939). La spectrochimie de fluorescence dans l'étude des produits biologiques. *Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe*. *Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe* (Vol. 2), (pp. 301-341). Vienna : Springer. P. 301–341. doi: 10.1007/978-3-7091-7184-4_9.
31. Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual. CHARISMA. URL: <https://www.britishmuseum.org/pdf/charisma-multispectral-imaging-manual-2013.pdf>.
32. Edwards, G., & Oey, M. (2018). Digital imaging workflow for treatment documentation. Conservation Division, Preservation Directorate Library of Congress. URL: <https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/Docs/Digital%20Imaging%20Workflow.pdf>.
33. Falco, C. M. (2009). High resolution digital camera for infrared reflectography. *Review of Scientific Instruments*, 80(7), 071301. doi: 10.1063/1.3174431. https://wp.optics.arizona.edu/falco/wp-content/uploads/sites/57/2016/08/RSI_IRcamera.pdf.
34. Farnsworth, M. (1938). Infra-red Absorption of Paint Materials. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*, 7(2), 88-98.
35. Fontana, R., Barucci, M., Dal Fovo, A., Pampaloni, E., Raffaelli, M., & Striova J. (2018). Multispectral IR Reflectography for Painting Analysis. *Advanced Characterization Techniques, Diagnostic Tools and Evaluation Methods in Heritage Science* (pp. 33-47). Cham, Switzerland : Springer. doi:10.1007/978-3-319-75316-4_3.
36. Fontana, R., Bencinia, D., Carcagnib, P., Grecoa, M., Mastroiannia ,M., Materazzia, M., Pampalonia, E., & Pezzatiale, L. Multi-spectral IR reflectography. *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology* (Vol. 6618), (pp. 292-306). WA: SPIE Press.
37. Galal, A. M. (2016). An analytical study on the modern history of digital photography. *International Design Journal*, 6(2), 203-215.
38. Gavrilov, D., Maev, R., & Almond, D. P. (2014). A review of imaging methods in analysis of works of art: Thermographic imaging method in art analysis. *Canadian Journal of Physics*, 92(4), 341-364. doi: 10.1139/cjp-2013-0128.
39. Gavrilov, D., Maeva, E., Grube, O., Vodyanoy, I., & Maev, R. (2013). Experimental comparative study of the applicability of infrared techniques for non-destructive evaluation of paintings. *Journal of the American Institute for Conservation*, 52(1), 48-60. doi: 10.1179/0197136012Z.0000000002.
40. Gordon, D. (2003). The fifteenth century Italian paintings. Vol. 1. National Gallery Catalogues. London : National Gallery Company.

41. Hayem-Ghez, A., Ravaud, E., Boust, C., Bastian, G., Menu, M., & Brodie-Linder, N. (2015). Characterizing pigments with hyperspectral imaging variable false-color composites. *Applied Physics A*, 121, 939-947. doi: 10.1007/s00339-015-9458-8.
42. Hentschel, K. (2002). Photochemical Experimentation, Infrared Exploration, and the Turn Towards Photometry. *Mapping the Spectrum: Techniques of Visual Representation in Research and Teaching* (pp. 247-289). Oxford : Oxford Academic. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198509530.003.0007.
43. Herrero-Cortell, M., Artoni, P., & Raïch, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: a brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science*, 12(2), 79-88. doi: 10.23738/CCSJ.120210.
44. Keck, Sh. (1941). A use of infra-red photography in the study of technique. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*, 9(3), 145-152.
45. Keller, A. T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., Comelli, D., & Nevin, A. (2019). Exploring the ultraviolet induced infrared luminescence of titanium white pigments. *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques. Conservation 360⁰* (pp.201–232). Valencia (Spain) : Universitat Politecnica de Valencia. <https://doi.org/10.4995/360.2019.110002>. URL: <http://hdl.handle.net/10251/138517>.
46. Klein, L., & Klein, K. (2015). Digital Infrared Photography: Artistic Techniques. Buffalo, N.Y. : Amherst Media.
47. Kushel, D. A. (1985). Applications of transmitted infrared radiation to the examination of artifacts. *Studies in Conservation*, 30(1), 1-10. doi: 10.1179/sic.1985.30.1.1.
48. 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.
49. Lyon, R. A. (1934). Infra-red radiations aid examination of paintings. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*, 2, 203-212.
50. MacBeth, Rh., & Breare, C. (2012). The technical examination and documentation of easel paintings. *Conservation of easel paintings* (pp.302-321). Abingdon, Oxon; New York, NY : Routledge. doi: 10.4324/9780429399916-20.
51. Mairinger, F. (2000). The infrared examination of paintings. *Radiation in Art and Archeometry* (pp.40-55). Amsterdam, The Netherlands : Elsevier. doi: 10.1016/B978-044450487-6/50049-3.
52. Mairinger, F. (2004). UV-, IR- and X-ray imaging. *Non-destructive microanalysis of cultural heritage materials. Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 42), (pp.15-71). Antwerp: Wilson & Wilson Elsevier. doi: 10.1016/s0166-526x(04)80006-0.
53. Matteini, M., Moles, A., & Tiano, P. (1978). Infrared Colour Films as an Auxiliary Tool for the Investigation of Paintings. Proceedings from ICOM Committee for Conservation 5th Triennial Meeting, Zagreb. (pp. 78/1/3–78/1/4). Rotterdam : Bouwcentrum. URL: https://archive.org/details/gri_33125001869656/page/n133/mode/2up?q=Matteini.
54. Mees, C. E. K. (1919). The Photography Of Colored Objects. Rochester, N. Y.: Eastman Kodak Co.
55. Moon, Th., Schilling, M. R., & Thirkettle, S. (1992). A note on the use of false-color infrared photography in conservation. *Studies in conservation*, 37(1), 142–52. doi: 10.2307/1506436.
56. Moutsatsou, A., Skapoula, D., & Doulgeridis, M. (2011). The contribution of transmitted infrared imaging to non-invasive study of canvas paintings at the National Gallery–Alexandros Soutzos Museum, Greece. *E-conservation magazine*, 22, 53–61.
57. Müller-Skjold, F., Schmitt, H., Wehlte K. (1939). Gemäldephotographie im Licht verschiedener Wellenlängen [Painting photography in light of different wavelengths]. *Zeitschrift für angewandte Photographie — Journal for applied photography*, 5/6, 125-140 [in German].
58. Olin, Ch. H., & Thomas, G. C. (1970). Infrared color photography of painting materials. *IIC-American group Technical Papers*, 27-28. URL: <https://mci.si.edu/node/1170361>.
59. Opus Instruments. URL: <https://www.opusinstruments.com/cameras/osiris-camera/>.
60. Paolini, C. (2022). The diagnostic technique of False Colour and the application of Artificial Intelligence for its interpretation. *Finais Collection* (Vol. 3), (pp.15–17). Zurigo : Finais. URL: https://elearning.unite.it/pluginfile.php/259308/mod_resource/content/1/3%20VOL_PRINT%20CP%20AI.pdf.
61. Pezzati, L., Materazzi, M., & Poggi, P. (2004). IR-colour scanning reflectography. *The Painting Technique of Pieretro Vannucci, called il Perugino* (pp.65-70). Florence : Nardini Editore.
62. Pozza, G., Ajò, D., Chiari, G., De Zuane, F., & Favaro, M. (2000). Photoluminescence of the inorganic pigments Egyptian blue, Han blue and Han purple. *Journal of Cultural Heritage*, 1(4), 393-398. doi: 10.1016/S1296-2074(00)01095-5.
63. Profilocolore Ltd. URL: <https://www.profilocolore.com/modified-cameras/>
64. Ramadan, S., Mahgoub, G., ElHagrassy, A., & Mertah, E. (2022). Investigation and Characterization of Two Painted Limestone Stelae, Egyptian Museum, Cairo, Egypt. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(8), 85-96. doi: 10.21608/ejchem.2022.102211.4747.
65. Rawlins, F. I. G. (1938). A novel infra-red camera for art gallery work. *The museums journal*, 38, 186-188.
66. Rawlins, F. I. G. (1940). From the National Gallery Laboratory. London: National Gallery.
67. Saunders, D., Billinge, R., Cupitt, J., Atkinson, N., & Liang, H. (2006). A new camera for high-resolution infrared imaging of works of art. *Studies in conservation*, 51(4), 277-290. doi: 10.1179/sic.2006.51.4.277.
68. Silverman, J., Mooney, J. M., & Shepherd, F. D. (1992). Infrared Video Cameras. *Scientific American*, 266(3), 78-83. doi:10.1038/scientificamerican0392-78.

69. Sizov, F. (2019). Brief history of THz and IR technologies. *Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics*, 22(1), 67-79. <https://doi.org/10.15407/spqeo22.01.67>.
70. Spencer's Camera & Photo. URL: <https://www.spencerscamera.com/full-spectrum-cameras.cfm>.
71. Stuart, B. H. (2007). *Analytical techniques in materials conservation*. Chichester, England : John Wiley & Sons.
72. 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. doi: 10.1366/11-06230.
73. Van Asperen de Boer, J. R. J. (1986). Examination by infrared radiation. *Scientific Examination of Easel Paintings: Art History and Laboratory Part* 13 (pp. 109-130). Strasbourg : Council of Europe, Parliamentary Assembly.
74. Van Asperen de Boer, J. R. J. (1966). Infrared reflectograms of panel paintings. *Studies in Conservation*, 11(1), 45-46. doi:10.1179/sic.1966.005.
75. Van Asperen de Boer, J. R. J. (1968). Infrared reflectography: a method for the examination of paintings. *Applied Optics*, 7(9), 1711-1714. doi: 10.1364/ao.7.001711.
76. Van Asperen de Boer, J. R. J. (1969). Reflectography of paintings using an infrared Vidicon television system. *Studies in Conservation*, 14(3), 96-118. doi:10.1179/sic.1969.010.
77. Verhoeven, G. (2008). Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography. *Journal of Archaeological Science*, 35(12), 3087-3100. doi: 10.1016/j.jas.2008.06.012.
78. Verri, G. The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II* (Vol. 7391), (pp. 37-48). Bellingham, WA: SPIE Press. doi:10.1117/12.827331.
79. Verri, G. (2009). The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 394(4), 1011-1021. doi: 10.1007/s00216-009-2693-0.
80. Verri, G., & Saunders, D. (2014). Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *The British Museum Technical Bulletin*, 8, 83-92.
81. Verri, G., Saunders, D., Ambers, J., & Sweek, T. (2010). Digital mapping of Egyptian blue: conservation implications. *Studies in Conservation*, 55(sup2), 220-224. doi: 10.1179/sic.2010.55.supplement-2.220.
82. Walmsley, E., Fletcher, C., & Delaney, J. (1992). Evaluation of system performance of near-infrared imaging devices. *Studies in Conservation*, 37(2), 120-131. doi: 10.1179/sic.1992.37.2.120.
83. Warda, J. (2011). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation*. 2nd Edition. Washington, D.C. : American Institute for Conservation.
84. Webb, E. K. (2017). Reflected Infrared and 3D Imaging for Object Documentation. *Journal of the American Institute for Conservation*, 56(3-4), 211-224. doi: 10.1080/01971360.2017.1359463.
85. Wecksung, G., Evans, R., Walker, J., Ainsworth, M., Brealey, J., & Cariveau G. (1987). Assembly of infra-red reflectograms by digital processing using a portable data collecting system. *Proceedings of the ICOM Committee for Conservation, 8th Triennial Meeting*. (pp.107-109). Los Angeles : Getty Conservation Institute.
86. Williams, R. & Williams, G. (2005). Ultraviolet, infrared & fluorescence photography. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ultraviolet-%2C-Infrared-%26-Fluorescence-Photography-Williams/ad39e89ba3595d63eaa11f4ba437f21d95ff68fe>.
87. Wood, R. (2010). A New Departure in Photography. *The Century Magazine. The Century Company*, 79(4), 565-572.

UDC 7.038.54:535.6

INFRARED EXAMINATION OF ARTWORK : EVOLUTION, POSSIBILITIES AND PROSPECTS FOR METHOD DEVELOPMENT

Andrianova Olena – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department
of Art History Expertise, National Academy of Government Managerial Staff of Culture and Arts,
Director, Bureau of Scientific and Technical Expertise «ART-LAB»

The aim of this paper is to study and analyze the main historical stages of the evolution of artwork examination in the infrared range, outline current trends, and discuss possibilities of applying infrared radiation in technological research.

The research methodology is based on a comprehensive scientific approach and uses general scientific methods of scientific knowledge, including generalization, synthesis, induction, and deduction.

Results. The article discusses the evolution of artwork examination in infrared radiation, from the discovery of infrared rays, the appearance of sensitized photographic films, the development of methodology and its implementation in museum research practice to the digital cameras and computer technologies application. The background, peculiarities of development, and capabilities of infrared photography and reflectography in reflected and transmitted light, infrared luminescence method, and false-color infrared imaging were analyzed. Modern trends and prospects for the application of infrared radiation in the examination of artworks are highlighted.

Novelty. The article discusses the evolution of the application of infrared radiation in artwork research for the first time. It was demonstrated that the advancements in research capabilities and the expansion of the art objects examination in the infrared range were due to the development of techniques and technology.

The practical significance. The information provided in the article contributes to a deeper understanding of the evolution of the artwork examination in the infrared range, increases knowledge of the method's capabilities, and promotes the development of practical applications of infrared imaging in the examination of Ukrainian cultural objects.

Key words: infrared radiation, history of development, infrared reflectography, infrared luminescence, false-color infrared imaging, technical photography.

Надійшла до редакції 10.09.2024 р.

УДК 78.04

КОНЦЕПТОСФЕРА РИТУАЛЬНОЇ ОБРЯДОВОСТІ У СКРИПКОВІЙ МУЗИЦІ КИТАЙСЬКОГО КОМПОЗИТОРА МА СІЦОНГА

Лі Яньлун – кандидат мистецтвознавства, PhD
університет Хеджоу (Китай)
<https://orcid.org/0000-0001-6479-061X>
<https://doi.org/10.35619/ucpmk.vi49.863>

Розглядається проблема втілення ритуальної обрядовості Китаю у скрипковій музиці Ма Сіцонга як однієї з надважливих сфер національного мистецького світогляду. Розглядаються типи програмності та специфіка музичного втілення міфологічно-легендарної сфери у «Міфах, Духах і Божествах Тибету»; релігійної обрядовості буддійських монахів у «Ламаїстському храмі» і «Танці з мечами» з «Тибет-сюїти». Аналітичному розгляду піддається «Танець Драконових Ліхтарів», де вперше у китайській скрипковій музиці втілено дану релігійно-ритуальну концептосферу засобами буквального відтворення обрядодійства. Прототипи первісних архаїчних обрядів тайванських аборигенів у «Гаошань-сюїті» (названої за іменем тубільного племені) постають у п'єсах «Жертвопринесення» та «Викликання духів» і вирішені в аспекті концептуально-філософської програмності.

Ключові слова: ритуальна обрядовість Китаю, скрипкова музика, Ма Сіцонг, Тибет-сюїта, Танець Драконових Ліхтарів, архаїчні обряди, програмність.

Актуальність проблеми. У розмаїтті національних шкіл світового контенту XX ст., кожна з яких репрезентує власні ментально-світоглядні засади, особливе місце серед яких посідає звернення та відтворення крізь призму музичного мистецтва сфери ритуальної обрядовості. Сакраментальні дієства, вироблені століттями, що тривають у бутті того чи іншого народу, кодексують не лише типи вірувань, але й способи їх реалізації, включаючи широкий спектр виразового кола обрядодійств. Вони є традиційними символічними діями, що в образній формі виражають духовно-соціальні події в житті людини та соціуму, охоплюючи значну частину сукупності традиційних умовних дій, котрі в образно-символічній формі виражають установлені зв'язки людей з природою та поміж собою, а також виявляють стереотипні форми масової поведінки, що отримують вираження в повторенні стандартизованих дій. Особливістю обрядів є синтез у них різних видів мистецтв, що дає можливість впливати не лише на розум, але й на почуття учасників, пов'язаних із найважливішими подіями соціального, сімейного та духовного життя етносу. Наявність ритуальної обрядовості є рисою, характерною для усіх відомих людських суспільств, адже вона включає не лише проведення ритуалів поклоніння і таїнств, організованих релігій чи культів, а, відтворюючи при цьому міфічне минуле, залучаючи до спільної діяльності, сприяє її консолідації та впорядкуванню. Так, міф і ритуал становлять нерозривну єдність, адже міф пояснює влаштування світу, подає всі його складові у цілісності, а ритуали підтримують цю цілісність за участю людей (за Дж. Фрезером) [2]. Дослідження в даній антропологічній площині привертають щоразу більшу та інтенсивнішу увагу вчених, таких як Е. Дюркгайм, К. Геертц, К. Леві-Строс та ін., включаючи в ареал досліджень різноманітні вектори, в тому – мистецьких інтерпретацій ритуально-обрядових дійств, зокрема, в їх ментально-національних проєкціях. У даному випадку – пропонується розгляд музичного втілення окремих ритуальних обрядодійств у китайській музиці крізь призму творчості одного з найцікавіших композиторів Китаю XX століття Ма Сіцонга. Зауважимо, що дані образно-тематичні концепти, пов'язані з релігійно-обрядовою сферою у китайській музиці європейського зразка з'явилися доволі пізно – фактично, у останній третині XX століття, що пов'язано з політичною ситуацією. Лише «період відкритості», що настає після трагічних наслідків «культурної революції», відкриває осмислення та освоєння всього історично-міфологічного та релігійно-обрядового багатства народів Китаю у новому мистецькому просторі. Проте, навіть на початку та у першій пол. XX століття китайські композитори, особливо ті, що здобували освіту в Європі – були носіями власної національної ідентичності – з одного боку, а з іншого, – вбираючи та популяризуючи загальносвітові тенденції, взорувалися на особливу увагу до минувшни, яка сформувалася в потужну хвилю неокласицизму, проявляли значний інтерес до цієї теми. Проте, чимало з таких творів підлягли згодом заборонам та