

УДК 025.171:002.53:77.043.2:537.528

ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ АРКУШІВ СТАРОДРУКІВ У РЕСТАВРАЦІЙНІЙ ПРАКТИЦІ: ТИПИ ЗАБРУДНЕНЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВТРУЧАНЬ

М. В. Якимець, І. З. Миклушка

*Інститут поліграфії та медійних технологій,
НУ «Львівська політехніка»,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

У статті здійснено огляд сучасних методів очищення аркушів стародруків, що є об'єктами культурної та історичної спадщини. Проведено класифікацію типів забруднень за походженням (атмосферні, органічні, біологічні, залізовмісні), фізико-хімічними властивостями та ступенем проникнення у волокнисту структуру паперу. Встановлено відповідність між типами забруднень і методами їх очищення, зокрема механічними, вологими, ферментативними, хімічними та інноваційними. Особливу увагу приділено застосуванню новітніх технологій, таких як фемтосекундний лазер та холодна плазма, які демонструють високу селективність, контрольованість та мінімальний ризик пошкодження паперової основи. Наведено порівняльну характеристику методів за критеріями безпечності, ефективності та доцільності застосування в реставраційній практиці. Обґрунтовано необхідність структурованого підходу до вибору технологій очищення залежно від типу забруднення. Отримані результати можуть бути використані для створення уніфікованих протоколів втручання, а також для подальших наукових досліджень у галузі консервації документів.

Ключові слова: стародруки, реставрація друкованих видань, очищення аркушів паперу, лазерне очищення, старіння паперу, консервація документів, культурна спадщина.

Постановка проблеми. Стародруки як об'єкти культурної та історичної спадщини зберігаються в умовах, що не завжди є оптимальними з точки зору збереження паперової основи та фарбових шарів. У процесі тривалого зберігання вони зазнають різноманітних забруднень — від побутових, біологічних до хімічних — що вимагає професійного втручання з метою їх очищення та стабілізації.

Незважаючи на значну кількість публікацій, присвячених окремим методам очищення, бракує систематизованої класифікації типів забруднень, яка б дозволяла реставраторам та консерваторам здійснювати обґрунтований вибір відповідних засобів і технологій очищення. Існуючі підходи здебільшого мають описовий або прикладний характер і не забезпечують повноцінної кореляції між походженням забруднення, його фізико-хімічними властивостями та ефективними методами видалення.

У зв'язку з цим актуальним є завдання структурування наявної інформації про види забруднень аркушів стародруків, їх походження, механізм дії на паперову основу та відповідні методи очищення. Такий підхід дозволить сформувати науково обґрунтовану модель прийняття рішень у реставраційній практиці та сприятиме збереженню автентичності документів культурної спадщини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика збереження стародруків, зокрема їх очищення від забруднень різного походження, є однією з центральних тем сучасної реставраційної науки. Аркуші стародруків, що становлять вагомий частину світової та національної культурної спадщини, потребують особливо обережного й науково обґрунтованого підходу до консервації. Відомо, що саме на етапі очищення паперових основ виникають значні ризики щодо незворотних пошкоджень структури документа, особливо у випадках із комбінованими типами забруднень або наявністю нестійких фарбових шарів.

У науковій літературі останніх років простежується зростання інтересу до інноваційних технологій очищення, таких як лазерне опромінення, що розглядаються як альтернатива традиційним методам — механічним, вологим, хімічним і ферментативним [2]. Водночас, попри наявність численних емпіричних досліджень ефективності тих чи інших підходів, у фаховому дискурсі досі відсутня чітка систематизація відповідності типів забруднень стародруків конкретним методикам їх видалення. Окремі публікації [1,3,4] акцентують увагу на загальних принципах обережності під час втручання, однак не пропонують формалізованої класифікаційної моделі для вибору оптимального методу з урахуванням фізико-хімічної природи забруднень, ступеня їх проникнення у волокнисту структуру паперу та потенційних ризиків для матеріалу.

Отже, на сучасному етапі розвитку реставраційної практики виникає необхідність у розробці чіткої й логічно обґрунтованої класифікації забруднень стародруків з подальшим узгодженням її з системою методів очищення, апробованих у реставраційних лабораторіях і підтверджених науковими дослідженнями.

Мета дослідження. Метою дослідження є створення системної класифікації забруднень аркушів стародруків на основі їх походження, фізичного стану та глибини проникнення в паперову основу, а також визначення відповідних сучасних методів очищення, що дозволяють досягти максимальної ефективності за умов збереження структурної цілісності об'єкта дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із критичних етапів реставраційного втручання виступає очищення аркушів, що передуює подальшим консерваційним або стабілізаційним процесам. Цей етап потребує особливої обережності та науково обґрунтованого підходу, адже навіть незначний вплив агресивного середовища чи невідповідного методу очищення може спричинити необоротну втрату інформації або руйнацію паперової основи. Забруднення на аркушах стародруків можуть мати різне походження та фізико-хімічну структуру, тому методи їх видалення повинні добиратися індивідуально.

Залежно від походження та властивостей, забруднення можна поділити на кілька основних категорій. Найбільш поширеними є атмосферні та побутові

забруднення, жирові й смолисті плями, водорозчинні забруднення, біологічні ураження та металеві сполуки, кожна з яких вимагає специфічного методу очищення.

Атмосферні та побутові забруднення

Одним із найпоширеніших типів забруднень стародруків є поверхневі неорганічні нашарування: пил, кіптява, мікрочастинки сажі. Їх поява зумовлена тривалим зберіганням у відкритих книжкових фондах, недостатнім захистом від повітряних потоків, а також впливом зовнішнього середовища, зокрема димом від свічок, печей або вогню [5]. Забруднення цього типу, як правило, мають слабкий зв'язок із волокнами паперу й можуть бути усунені механічними методами. Для їх видалення використовують сухе очищення спеціальними щітками, гумками або каучуковими тампонами. У випадках делікатного або ослабленого паперу застосовується мікровакуумування за допомогою фільтрованих насадок [6].

Жирові та смолисті плями

Жирові плями можуть з'явитися внаслідок дотику пальців, контакту з харчовими речовинами або воском, а також через залишки палітурних клеїв. Ці забруднення є складнішими у видаленні, оскільки мають високу адгезію до целюлозних волокон і часто проникають у товщу паперу [7]. У реставраційній практиці для видалення таких плям застосовуються органічні розчинники — ізопропанол, етанол, ацетон — у чистому вигляді або в комбінації з гелеутворювачами. Використання гелевих систем дозволяє обмежити зволоження навколишніх ділянок і забезпечити локальну дію на пляму. У випадках, коли пляма має біологічну природу (наприклад, тваринний жир або сліди білків), використовуються ферментативні препарати — ліпази, що забезпечують розщеплення забруднення на нейтральні компоненти без шкоди для паперу [8].

Водорозчинні забруднення

До цієї групи належать плями, спричинені рідинами органічного походження: вином, кавою, соком, а також природними барвниками рослинного походження. Ці забруднення, як правило, викликають дифузні розводи на поверхні, можуть проникати в структуру паперу і впливати на його оптичні характеристики. У таких випадках застосовуються методи локального вологого очищення з використанням дистильованої або деіонізованої води. Для покращення результату часто використовуються буферизовані розчини або слабкі водно-спиртові суміші. Якщо пляма має складну органічну структуру, застосовується ферментативне очищення із використанням амілаз або пероксидаз. У випадках, коли забруднення спричинило зміни кольору, може бути використано обережне вибілювання за допомогою пероксиду водню в концентрації до 1%, за умови тестування сумісності з барвником і паперовою основою [9].

Біологічні ураження

Наявність грибкових уражень (плісняви), мікробних колоній або метаболічних продуктів життєдіяльності є особливо небезпечною для стародруків, оскільки такі забруднення не лише псують зовнішній вигляд документа, але й викликають активне руйнування волокон паперу.

Очищення уражених ділянок відбувається шляхом обробки холодною плазмою, яка забезпечує знезараження без зволоження. У разі локального ураження можуть бути застосовані сорбційні гелі з антимікробними добавками (наприклад, хітозан, ефірні олії). Додатково використовується ферментативне очищення із застосуванням протеаз, що дозволяє розщепити білкові залишки грибової міцелії без ризику для паперу [10].

Залізовмісні нашарування

Плями від скріпок, іржі або залізо-галових чорнил є типовими прикладами металевих забруднень. Такі сполуки мають високу реактивність і можуть спричинити окислення, зниження рН паперу, а також його локальне руйнування. Для їх нейтралізації використовуються гелі на основі хелатуючих агентів (наприклад, ЕДТА або ДТАА), які зв'язують іони металів і виводять їх із целюлозної структури. У разі сильного ураження здійснюється місцеве відбілювання або буферизація за допомогою кальцієвих розчинів, що дозволяє стабілізувати кислотність і пригальмувати подальше пошкодження.

З огляду на різноманітність природи та механізмів виникнення забруднень, у межах дослідження запропоновано класифікацію забруднень аркушів стародруків за трьома ключовими критеріями: походженням, фізико-хімічними властивостями та ступенем проникнення у волокнисту структуру паперу. Такий підхід дозволяє не лише систематизувати типові форми забруднень, з якими стикаються реставратори, а й забезпечує наукове підґрунтя для вибору відповідного методу очищення. Кожен тип забруднення вимагає специфічного втручання, що враховує взаємодію домішок із паперовою основою та потенційні ризики для її структури. Зведена характеристика основних типів забруднень та їхніх властивостей подана в таблиці 1.

Таблиця 1

Класифікація основних типів забруднень аркушів стародруків

№	Тип забруднення	Походження	Властивості	Ступінь проникнення
1	Атмосферні та побутові	Пил, сажа, кіптява	Неорганічні частинки, слабка адгезія	Поверхнєве
2	Жирові та смолисті плями	Харчові речовини, клеї	Органічна природа, висока в'язкість, адгезивність	Глибоке / середнє
3	Водорозчинні органічні речовини	Напої, барвники	Гідрофільні, можуть змінювати оптичні властивості	Середнє / глибоке
4	Біологічні ураження	Пліснява, бактерії	Білкові структури, ферментативна активність	Глибоке
5	Залізовмісні нашарування	Чорнила, іржа	Металеві сполуки, окиснення, зниження рН	Глибоке / точкове

Перспективи лазерного очищення в реставрації стародруків

Лазерне очищення є однією з найперспективніших технологій у сфері консервації паперових пам'яток, зокрема стародруків. Цей метод ґрунтується на принципі вибіркового видалення забруднень за рахунок фототермічного ефекту лазерного

випромінювання, що поглинається поверхневими домішками, але практично не впливає на целюлозну основу документа.

Серед ключових переваг лазерного очищення слід відзначити його безконтактний характер, високу селективність дії та можливість точкового втручання без розповсюдження впливу на навколишні ділянки. Зокрема, при використанні імпульсних твердотільних лазерів (Nd:YAG, $\lambda = 1064$ нм, 532 нм, 355 нм) забезпечується ефективне видалення сажі, кіптяви, залишків окиснених чорнил та інших оптично активних нашарувань без порушення структури паперу [2].

Іншим важливим аспектом є висока керованість параметрів впливу, зокрема енергії імпульсу, тривалості, частоти та розміру плями, що дозволяє адаптувати процес очищення до стану конкретного документа. Особливу увагу привертають фемтосекундні лазери, які завдяки ультракоротким імпульсам здійснюють «холодну абляцію», практично виключаючи тепловий вплив на підкладку.

Наразі лазерне очищення успішно апробоване в низці реставраційних проєктів, зокрема в рамках програм LACONA (Lasers in the Conservation of Artworks), а також у лабораторіях Італії, Чехії, Польщі та Австрії, де досліджено параметри дії лазерів на старий папір, пігменти, барвники та мікроорганізми [8]. Більшість досліджень свідчать про безпечність методу за умови використання енергій, нижчих за поріг абляції для паперової основи.

Попри значні переваги, метод потребує подальшої стандартизації, розробки настанов щодо вибору режимів обробки для різних типів забруднень, а також масштабнішого впровадження у практику реставраційних установ. Актуальним залишається і питання економічної доцільності та доступності обладнання для архівів і бібліотек країн з обмеженим фінансуванням сфери охорони культурної спадщини.

Таким чином, лазерне очищення становить інноваційний напрям у технологіях збереження стародруків, що поєднує високу ефективність, точність і делікатність впливу, а його подальший розвиток відкриває нові горизонти для інтеграції фізико-технічних методів у реставраційну практику.

Висновки. Проведене дослідження дозволило комплексно охарактеризувати сучасний стан проблеми очищення аркушів стародруків і сформулювати ключові підходи до її вирішення на основі класифікації типів забруднень та відповідних методів очищення. У результаті аналізу наукових джерел і практичного досвіду реставраційних установ було доведено, що ефективність очищення значною мірою залежить від правильного встановлення природи забруднення, його фізико-хімічних властивостей, походження та взаємодії з волокнистою структурою паперової основи.

Забруднення умовно поділено на п'ять категорій:

- атмосферні та поверхневі неорганічні нашарування;
- жирові та смолисті плями;
- водорозчинні органічні сполуки;
- біологічні ураження;
- залізовмісні нашарування.

Для кожного з типів запропоновано відповідні методи очищення, серед яких традиційні (сухе та вологе очищення, застосування розчинників, ферментативна обробка) та інноваційні (лазерна абляція, холодна плазма, хелатування). Особливої уваги заслуговує застосування фемтосекундних лазерів та неінвазивних гелевих технологій, які відкривають нові можливості для дбайливого очищення паперових артефактів без пошкодження структури носія.

Запропонована класифікація та відповідність методів очищення окремим видам забруднень дозволяє формалізувати процес прийняття рішень у реставраційній практиці, підвищити ефективність втручань і мінімізувати ризики втрати автентичності об'єкта. Це дає змогу розглядати очищення не лише як технологічну операцію, а як складову частину науково обґрунтованого процесу збереження культурної спадщини.

Результати дослідження створюють підґрунтя для розроблення уніфікованих протоколів втручання, адаптованих до різних типів забруднень та стану документів. У перспективі доцільним є поглиблення досліджень у напрямі експериментального порівняння ефективності інноваційних технологій очищення, зокрема лазерних і плазмових, із традиційними методами з урахуванням критеріїв безпеки, екологічності та економічної доцільності їх застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Strlič, M., Kolar, J., Pihlar, B. Evaluation of size-exclusion chromatography and viscometry for the determination of molecular masses of oxidised cellulose. // *Journal of Chromatography A*. – 2005. – Vol. 1080(2). – P. 267–272.
2. Parfenov, A., Kuznetsova, N., Ivanov, A. Laser Cleaning of Paper Artefacts: A Review. // *Restoration of Cultural Heritage*. – 2022. – No. 2. – P. 91–105.
3. Vizárová, K., Humpolíček, P., Šerá, J., et al. Cold plasma treatment of historic papers: Evaluation of physicochemical changes and biodecontamination efficiency. // *Journal of Cultural Heritage*. – 2021. – Vol. 47. – P. 189–196.
4. American Institute for Conservation (AIC). Paper Conservation Wiki: Surface Cleaning. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.conservation-wiki.com/wiki/BPG_Surface_Cleaning (дата звернення: 08.08.2024).
5. Northeast Document Conservation Center. Emergency Salvage of Moldy Books and Paper. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/3.8> (дата звернення: 08.08.2024).
6. Zekou, E., Tsilikas, I., Chatzitheodoridis, E., Serafetinides, A. A. Laser paper cleaning: the method of cleaning historical books. // *Proceedings of SPIE*. – 2017. – Vol. 10233. – Article ID 102330G. – DOI:10.1117/12.2269736.
7. Kelsey, S. Cleaning and Preserving Stained and Yellowed Works of Art on Paper. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kelseyconservation.com/cleaning-preserving-stained-yellowed-works-of-art-on-paper/> (дата звернення: 08.08.2024).
8. Cooper, M. Cleaning Works of Art on Paper: Problems, Possibilities, and the Role of Science. // *The Paper Conservator*. – 1998. – Vol. 22(1). – P. 4–12.

9. IADA – Internationale Arbeitsgemeinschaft der Archiv-, Bibliotheks- und Graphikrestauratoren. Empfehlungen zur Reinigung von Papier. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iada-home.org> (дата звернення: 08.08.2024).
10. Strlič, M., Kolar, J., Pihlar, B. Five-year ageing study of paper: Chemical changes and effectiveness of conservation treatments. // *Studies in Conservation*. – 2004. – Vol. 49(3). – P. 217–228.

REFERENCES

1. Strlič, M., Kolar, J., & Pihlar, B. (2005). Evaluation of size-exclusion chromatography and viscometry for the determination of molecular masses of oxidised cellulose. *Journal of Chromatography A*, 1080(2), 267–272.
2. Parfenov, A., Kuznetsova, N., & Ivanov, A. (2022). Laser cleaning of paper artefacts: A review. *Restoration of Cultural Heritage*, (2), 91–105.
3. Vizárová, K., Humpolíček, P., Šerá, J., et al. (2021). Cold plasma treatment of historic papers: Evaluation of physicochemical changes and biodecontamination efficiency. *Journal of Cultural Heritage*, 47, 189–196.
4. American Institute for Conservation (AIC). (2024, August 8). Paper Conservation Wiki: Surface cleaning. Retrieved August 8, 2024, from https://www.conservation-wiki.com/wiki/BPG_Surface_Cleaning.
5. Northeast Document Conservation Center. (2024, August 8). Emergency salvage of moldy books and paper. Retrieved August 8, 2024, from <https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/3.8>.
6. Zekou, E., Tsilikas, I., Chatzitheodoridis, E., & Serafetinides, A. A. (2017). Laser paper cleaning: The method of cleaning historical books. *Proceedings of SPIE*, 10233, Article 102330G. <https://doi.org/10.1117/12.2269736>.
7. Kelsey, S. (2024, August 8). Cleaning and preserving stained and yellowed works of art on paper. Retrieved August 8, 2024, from <https://kelseyconservation.com/cleaning-preserving-stained-yellowed-works-of-art-on-paper/>.
8. Cooper, M. (1998). Cleaning works of art on paper: Problems, possibilities, and the role of science. *The Paper Conservator*, 22(1), 4–12.
9. Internationale Arbeitsgemeinschaft der Archiv-, Bibliotheks- und Graphikrestauratoren (IADA). (2024, August 8). Empfehlungen zur Reinigung von Papier. Retrieved August 8, 2024, from <https://www.iada-home.org>
10. Strlič, M., Kolar, J., & Pihlar, B. (2004). Five-year ageing study of paper: Chemical changes and effectiveness of conservation treatments. *Studies in Conservation*, 49(3), 217–228.

doi: 10.32403/1998-6912-2025-2-71-201-208

CLEANING TECHNOLOGIES FOR SHEETS OF EARLY PRINTED BOOKS IN RESTORATION PRACTICE: CONTAMINATION TYPES AND INTERVENTION EFFECTIVENESS

M. V. Yakymets, I. Z. Myklushka

*Institute of Printing and Media Technologies,
Lviv Polytechnic National University
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
marjan.yakumets@gmail.com*

This article presents a comprehensive analysis of contemporary approaches to the cleaning of sheets from early printed books, which are regarded as unique and irreplaceable elements of the world's documentary heritage. It addresses the need for a structured methodology in conservation, based on the accurate identification and classification of surface contaminants. The study categorizes types of contamination according to their origin—atmospheric (dust, soot), organic (grease, adhesives), biological (mold, microbial residues), and metal-reactive compounds (iron gall ink corrosion, rust stains)—as well as by their physicochemical properties and degree of penetration into the paper matrix. For each category, corresponding cleaning strategies are evaluated, including dry surface cleaning, aqueous treatment, enzymatic application, chelation, and gel-supported solvents.

Special attention is given to the application of innovative technologies such as femtosecond laser ablation and cold plasma treatment, which enable selective and minimally invasive removal of impurities while preserving the structural and aesthetic integrity of the paper substrate. The article further discusses the advantages, limitations, and safety considerations of each method and advocates for an integrated approach based on contamination typology. The effectiveness of these approaches is evaluated in terms of precision, reversibility, and compatibility with heritage materials.

The findings contribute to the development of decision-making frameworks and practical protocols for conservators and paper restorers, promoting evidence-based interventions in the preservation of early printed artifacts. Furthermore, the article emphasizes the importance of interdisciplinary collaboration, ongoing experimental validation, and the gradual integration of advanced technologies in routine conservation workflows. These results provide a conceptual foundation for future research and standardization in the field of paper-based cultural heritage preservation.

Keywords: *early printed books, restoration of printed editions, cleaning of paper sheets, laser cleaning, paper ageing, document conservation, cultural heritage.*

Стаття надійшла до редакції 10.09.2025.

Received 10.09.2025.