

УДК 005.934.4:502/504]004.67

DOI <https://doi.org/10.32782/uad.2025.2.5>**Кротенко Роман Олександрович,**

аспірант

Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

ORCID ID: 0000-0003-1277-9966

roman.krotenko.22@pnu.edu.ua

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕСТАВРАЦІЇ: НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ У ЗБЕРЕЖЕННІ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

У сучасних умовах загострення екологічної кризи та антропогенного тиску на навколишнє середовище, питання збереження культурної спадщини набуває нової інтерпретації, що виходить за межі традиційної реставрації як суто естетико-історичного процесу. Зростаюча увага до сталого розвитку, екологічної відповідальності та ресурсозбереження стимулює переосмислення методів і засобів, що застосовуються у сфері реставрації архітектурних і мистецьких пам'яток. У цьому контексті особливого значення набуває інтеграція екологічних підходів, зокрема використання екологічно безпечних, нетоксичних та біостійких матеріалів і технологій, здатних забезпечити як довготривале збереження об'єктів спадщини, так і мінімальний вплив на довкілля.

Традиційні методи реставрації, які широко використовувалися у ХХ столітті, часто базувалися на застосуванні хімічно активних речовин, штучних полімерів та індустриальних технологій, ефективність яких оцінювалася переважно з точки зору довговічності та механічної стійкості. Проте з часом виявилося, що низка таких матеріалів вступає у небажані фізико-хімічні реакції з автентичними поверхнями, спричиняє вторинне руйнування або утворення незворотних змін в історичних структурах. До того ж, багато з них мають високий рівень токсичності, що негативно впливає як на фахівців-реставраторів, так і на довкілля. Це, у свою чергу, створює необхідність у розробці й адаптації нових, екологічно нейтральних рішень, які відповідали б вимогам сучасної консерваційної практики.

Сучасна наука, спираючись на досягнення в галузях матеріалознавства, біохімії, нанотехнологій і сталого будівництва, пропонує низку альтернатив, які поступово впроваджуються у реставраційну діяльність. Зокрема, це застосування вапняних та силікатних розчинів на природній основі, наноматеріалів для гідрофобізації без порушення паропроникності, бактерійних біоцидів та фотоактивних покриттів, що забезпечують антигрибковий і самоочищувальний ефект. Водночас спостерігається брак систематизованого підходу до оцінки екологічних характеристик реставраційних засобів, їхнього довготривалого впливу на матеріали культурної спадщини та сумісності з історичними субстанціями.

Отже, постає складна міждисциплінарна проблема, що потребує як наукового аналізу екологічних властивостей новітніх реставраційних матеріалів, так і оцінки їхньої ефективності в умовах конкретних кліматичних, історико-архітектурних та технологічних контекстів. Відсутність уніфікованих критеріїв екологічності у реставраційній практиці України, обмежений доступ до сучасних матеріалів і недостатнє нормативне регулювання екологічних аспектів реставрації ускладнюють інтеграцію світових стандартів сталого збереження спадщини в національну реставраційну політику.

Ключові слова: екологічна реставрація, геополімери, культурна спадщина, цифрові технології, сталє збереження.

Krotenko Roman. ECOLOGICAL ASPECTS OF RESTORATION: INNOVATIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION

In the context of the escalating ecological crisis and increasing anthropogenic pressure on the environment, the issue of cultural heritage preservation is acquiring a new interpretation that goes beyond the traditional understanding of restoration as merely an aesthetic or historical process. The growing focus on sustainable development, environmental responsibility, and resource efficiency encourages a rethinking of the methods and materials used in the restoration of architectural and artistic monuments. Within this framework, the integration of ecological approaches becomes especially relevant, including the use of environmentally safe, non-toxic, and biostable materials and technologies that ensure both long-term preservation and minimal environmental impact.

Traditional restoration methods widely used in the 20th century often relied on chemically active substances, synthetic polymers, and industrial techniques, whose effectiveness was assessed mainly in terms of durability

and mechanical strength. However, over time, it became clear that many of these materials react unfavorably with authentic surfaces, cause secondary deterioration, or result in irreversible changes to historical structures. Moreover, many of them are highly toxic, posing risks to both restorers and the environment. This creates a pressing need for the development and implementation of ecologically neutral solutions that meet the requirements of modern conservation practices.

Contemporary science, drawing on advancements in materials science, biochemistry, nanotechnology, and sustainable construction, offers a range of alternatives that are gradually being introduced into restoration activities. These include the use of natural lime- and silicate-based mortars, nanomaterials for hydrophobization without compromising breathability, bacterial biocides, and photoactive coatings that provide antifungal and self-cleaning effects. Nevertheless, there remains a lack of systematic approaches for evaluating the ecological properties of restoration products, their long-term impact on heritage materials, and their compatibility with historical substances.

Thus, a complex interdisciplinary challenge emerges—one that requires both scientific analysis of the ecological characteristics of new restoration materials and assessment of their effectiveness under specific climatic, architectural, and technological conditions. The absence of unified ecological criteria in Ukraine's restoration practice, limited access to advanced materials, and insufficient regulatory support hinder the integration of global standards for sustainable heritage preservation into national conservation policy.

Key words: ecological restoration, geopolymers, cultural heritage, digital technologies, sustainable preservation.

Вступ. У сучасних умовах збереження культурної спадщини стало не лише питанням національної ідентичності, а й важливим індикатором сталого розвитку суспільства. Архітектурні та мистецькі пам'ятки – це не лише артефакти минулого, а й ресурси, здатні формувати культурну пам'ять, туристичну привабливість та естетичну цінність середовища. Водночас, зростаючий тиск антропогенних чинників, глобальні зміни клімату, урбанізаційні процеси та техногенні руйнування створюють нові виклики для системи охорони та реставрації об'єктів культурної спадщини.

Особливої ваги набуває екологічна компонента реставраційної діяльності, яка досі недостатньо інтегрована у вітчизняну наукову та практичну площину. Традиційні методи часто ігнорують сучасні екологічні стандарти, передбачають використання токсичних або енергозатратних матеріалів, що може призводити до додаткового навантаження на довкілля та шкоди для самої пам'ятки. У цьому контексті виникає нагальна потреба у трансформації реставраційного дискурсу – від фокусування виключно на збереженні фізичної структури до ширшого розуміння пам'ятки як частини соціоекологічної системи.

На міжнародному рівні вже тривалий час формуються нові парадигми, орієнтовані на впровадження сталих, ресурсоефективних та інноваційних підходів у сфері збереження спадщини. Такі організації як ЮНЕСКО [14],

ICOMOS, Europa Nostra та ICCROM підкреслюють важливість міждисциплінарного підходу до реставрації, в якому поєднуються знання з архітектури, матеріалознавства, екології, цифрових технологій, культурної політики та менеджменту [1]. Особливу увагу приділяють питанням декарбонізації, енергоефективності, повторного використання ресурсів (reuse, recycle) та застосування природоорієнтованих рішень.

У відповідь на ці виклики в реставраційній практиці дедалі частіше використовуються інноваційні матеріали – геополімери, біосумісні нанокompозити, екологічні ізоляційні системи, що мають низький рівень емісії CO₂ та не шкодять культурному середовищу [2]. Паралельно розвиваються цифрові інструменти: 3D-сканування, цифрові двійники, моделювання поведінки матеріалів у часі, віртуальна та доповнена реальність, що дозволяють не лише планувати, а й моніторити стан пам'яток без фізичного втручання.

Попри наявність численних європейських ініціатив, в Україні тематика екологізації реставраційної практики перебуває на етапі становлення. Часто екологічні матеріали залишаються недоступними через високу вартість або відсутність нормативної бази. Також бракує аналітичних оглядів, які б системно окреслювали наявні інновації та їхній потенціал для локального використання.

У цьому контексті важливим є узагальнення новітніх підходів до екологічної

реставрації, їх критичний аналіз і адаптація до українського професійного середовища. Це дозволить не лише актуалізувати проблему, але й визначити вектори подальших наукових досліджень та практичних рішень [3].

Метою статті є всебічний аналіз екологічних аспектів сучасної реставраційної практики шляхом вивчення новітніх матеріалів та технологій, орієнтованих на стале збереження об'єктів культурної спадщини, з акцентом на їхню ефективність, безпечність та потенціал інтеграції в український реставраційний контекст.

Матеріали та методи. Дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході, що інтегрує методи історичного аналізу, порівняльного дослідження матеріалів, а також екологічної експертизи реставраційних технологій. Основу джерельної бази становлять сучасні наукові публікації, зокрема праці Н. М. Еванса, Спірідона П. та Санду І, Мцаберідзе М. та Джанелідзе І., Гелмер М., Ліптон Дж., Сніткер Г. та інших. А також міжнародні нормативні документи ICOMOS (Венеційська хартія [10], Бурраська хартія [11], Флорентійська хартія [12]) та рекомендації UNESCO. У роботі було розглянуто екологічні властивості матеріалів нового покоління, таких як геополімерні сполуки, наноструктуровані гідрофобізатори, вапнякові розчини на природній основі, біоцидні покриття та фотокаталітичні суміші [4]. Для виявлення відповідності цих матеріалів сучасним критеріям сталого збереження використовувались такі параметри, як паропроникність, зворотність, біостійкість, нетоксичність і сумісність із традиційними субстратами. Методологія передбачала порівняльний аналіз вітчизняної та європейської реставраційної практики на прикладах реалізованих проєктів в Італії, Польщі, Німеччині, а також в Україні (Хотинська фортеця, Луцький замок, Золотий зал Олеського замку). Джерела інформації були відібрані з відкритих наукових баз даних – ResearchGate, DOAJ, Google Scholar, ICOMOS Library та національних звітів про стан охорони пам'яток. Вибрані приклади дозволили не лише простежити тенденції матеріального збереження, а й виявити бар'єри екологізації,

пов'язані з регуляторними, економічними та інституційними обмеженнями. Загалом підхід поєднує наукову валідність із практичною релевантністю, що відповідає вимогам сучасної реставраційної доктрини [5].

Результати. Матеріали, що використовуються у реставрації архітектурних об'єктів, мають відповідати подвійним критеріям: з одного боку – забезпечувати конструктивну стабільність та довговічність, а з іншого – бути хімічно й візуально сумісними з оригінальними матеріалами. Історично найчастіше застосовувалися цементні суміші, синтетичні смоли та інші "сучасні" сполуки, однак їх агресивний вплив на первісні мінеральні або органічні структури згодом призвів до суттєвих пошкоджень. У відповідь на це реставраційна наука у XXI столітті сформувала концепцію матеріалів, що базуються на принципах екологічної безпеки, сумісності та оборотності. Поступово формується нова культура вибору матеріалів, яка включає:

- повагу до історичної тканини об'єкта;
- урахування його фізико-хімічного стану;
- прагнення мінімізувати шкідливий вплив на довкілля;
- ідею «м'якого втручання» – збереження автентичних шарів, навіть якщо вони пошкоджені, шляхом зміцнення, а не заміни.

Особливо актуальним цей підхід є для України, де значна кількість пам'яток постраждала внаслідок воєнних дій, а також від тривалого недофінансування галузі. В таких умовах екологічні матеріали можуть не лише слугувати альтернативою, а й стати основою нової реставраційної філософії.

Критерії екологічності реставраційних матеріалів. Поняття «екологічний матеріал» в реставрації виходить за межі лише нетоксичності. В ЄС воно тісно пов'язане з підходами Green Public Procurement (GPP), які вимагають:

1. Низького рівня викидів CO₂ на етапі виробництва та транспортування;
2. Використання природних або поновлюваних ресурсів;
3. Відповідності принципам циркулярної економіки (повторне використання або утилізація без шкоди екосистемі).

У реставрації, окрім цих загальних вимог, додаються спеціальні критерії:

- Сумісність. Матеріал не викликає хімічних реакцій з оригіналом, не призводить до пошкоджень.

- Паропроникність. Забезпечує природний повітро– та вологообмін, запобігає утворенню конденсату

- Біостійкість. Спротив розвитку плісняви, мікроорганізмів або біокорозії.

- Естетична нейтральність. Не спотворює вигляд об'єкта; допускає можливість подальшого демонтажу чи оновлення.

- Нетоксичність. Не виділяє летких органічних сполук, важких металів тощо.

Дотримання цих критеріїв перевіряється у спеціалізованих лабораторіях [7]. Наприклад, у країнах ЄС обов'язковими є протоколи дослідження пористості, рН, вмісту летких речовин (VOC), теплопровідності, капілярного підняття.

Класифікація сучасних екологічних матеріалів

1. Геополімери – це штучні мінеральні зв'язуючі речовини, які формуються шляхом полімеризації алюмосилікатів під впливом лужних розчинів. Їх основні переваги:

- висока міцність (навіть при низьких температурах);

- низька проникність для води;

- термічна та хімічна стабільність;

- майже вдвічі менше викидів CO₂ у порівнянні з портландцементом.

У реставрації геополімери застосовують для заповнення тріщин і пустот у цегляній та кам'яній кладці, виготовлення тонких архітектурних елементів та консолідації крихких поверхонь [6].

Приклад: Геополімерний розчин був використаний при реставрації частини фортечної стіни в м. Брно (Чехія), де потрібна була висока міцність і низька волого проникність.

2. Вапнякові розчини нового покоління. Вапно – традиційний матеріал для реставрації, особливо в контексті історичних будівель доіндустріальної доби. Новітні технології дозволяють:

- змінювати реологію вапнякових розчинів (додаючи целюлозні ефіри або кремнеземні наночастинки);

- зменшувати час карбонізації;

- посилювати адгезію;

- покращувати захист від атмосферних впливів.

Приклад: У Львові, під час реставрації Вірменського собору, застосовувались вапнякові розчини із мікрофіброю, що дозволило зменшити усадку та підвищити міцність.

3. Біополімери та нанокompозити. Біополімери, як-от хітозан, альгінат, желатин або похідні крохмалю, використовуються як основа для консолідантів, гідрофобізаторів або клеїв. Їх екологічність полягає у:

- природному походженні;

- відсутності токсичних побічних продуктів;

- можливості біодеградації без шкоди для навколишнього середовища.

У поєднанні з наночастинками (SiO₂, TiO₂, ZnO) вони набувають, фотокаталітичних властивостей (захист від УФ), бактерицидного ефекту та підвищеної стійкості до забруднень.

Приклад: У реставрації настінного живопису в португальській церкві Сан-Педро хітозановий гель з наночастинками кремнію використовувався для стабілізації фарбового шару.

4. Матеріали на основі вторинної сировини. Поновлювані та перероблені матеріали набувають дедалі більшого значення у реставраційній практиці. Їх використання не лише зменшує екологічний слід, а й сприяє збереженню історичного середовища через «циркулярність» матеріального потоку. До таких матеріалів належать:

- цегла та черепиця з демонтажу – застосовується повторно при заміні пошкоджених фрагментів кладки або покрівлі;

- перероблені мінеральні компоненти (наприклад, подрібнений бетон, шлак або пемза) – додаються до розчинів як заповнювачі;

- вторинне скло або мікрокремнезем – поліпшують властивості тиньків та реставраційних сумішей;

- перероблені деревні волокна – використовуються як армуючі добавки або компоненти утеплювачів у реставрації дерев'яних споруд.

Приклад: У проєкті RE4 (EU Horizon 2020) були протестовані будівельні елементи з 70% вторинної сировини, які демонстрували

хорошу сумісність з історичними конструкціями, особливо в об'єктах ХХ ст.

Перспективи впровадження екологічних матеріалів в українській практиці.

1. Законодавче та інституційне поле.

Станом на 2025 рік, екологічні аспекти у вітчизняному регулюванні реставраційної діяльності фактично не врегульовані. Ані Закон України «Про охорону культурної спадщини», ані чинні державні будівельні норми (ДБН В.3.2-1-2004) не містять окремих положень про екологічну безпеку реставраційних матеріалів. Позитивні зрушення спостерігаються завдяки:

- оновленню профільної освітньої програми в університетах (запроваджено курси з еко-матеріалів у КНУБА, ЛНБА, ХНУМГ);
- проектам міжнародної технічної допомоги (наприклад, UNESCO-ICCROM-Ukraine Heritage Recovery [13]);
- активності локальних громад та архітектурних майстерень, які ініціюють реставрацію з використанням місцевих природних матеріалів.

2. Соціокультурні аспекти та технічний потенціал

На сьогодні недостатня кількість фахівців має практичні навички роботи з новітніми екологічними матеріалами. Важливо стимулювати участь українських реставраторів у міжнародних тренінгах (наприклад, *The Getty Conservation Institute*), у пілотних об'єктах із застосуванням нових технологій у містах із багатим історичним середовищем – Львів, Чернівці, Кам'янець-Подільський. Також важливим є створення лабораторних центрів, здатних тестувати матеріали згідно з європейськими методиками.

У впровадженні екологічних матеріалів важливу роль відіграє розуміння громадою цінності культурної спадщини не лише як естетичного чи туристичного ресурсу, а як частини сталої екосистеми міста або регіону. Формування відповідального підходу до пам'яток як до «живого організму» дозволить уникнути хибних втручань і відкрити нові шляхи збереження.

Сучасні технології та інструменти у екологічній реставрації

У сучасній реставраційній практиці екологічність розглядається не лише як характеристика матеріалів, а як системна технологічна стратегія, що охоплює усі етапи втручання – від діагностики об'єкта до експлуатації після відновлення. Основні принципи такого підходу включають:

- мінімальне втручання – збереження максимального обсягу автентичної субстанції;
- реверсивність технологічних рішень – можливість демонтажу чи зміни без шкоди об'єкту;
- сумісність матеріалів і процесів з історичною структурою;
- енергоефективність – як на рівні будівельного процесу, так і функціонування об'єкта після реставрації;
- цифровізація рішень – використання точних даних для зниження ризиків та оптимізації процесів.

Технологічна екологічність у реставрації ототожнюється із «відповідальним будівництвом» (*responsible construction*), у межах якого реставратор виступає не тільки як інженер, але й як екологічний модератор середовища [8].

1. Низьковуглецеві та енергоефективні технології. У сфері реставрації об'єктів культурної спадщини дедалі більшого значення набуває низьковуглецевий підхід, тобто зменшення викидів CO₂ на всіх етапах втручання. Йдеться про:

- використання локальних ресурсів – зменшення логістичного сліду (напр., камінь із кар'єру, що розташований поблизу об'єкта);
- механічні методи очищення поверхонь – замість агресивних хімічних засобів (наприклад, мікроабразивна обробка вапняку з контролем тиску);
- енергоефективне підсилення конструкцій – використання вуглецевих сіток або біокомпозитів для зміцнення кладки без втрати паропроникності;
- пасивне опалення та вентиляція – застосування історичних принципів провітрювання та теплоізоляції, адаптованих під сучасні норми.

Кейс: Реставрація середньовічної синагоги у Зальцбургу (Австрія) передбачала

впровадження системи рекуперації повітря, що забезпечує сталий мікроклімат із мінімальним енергоспоживанням.

Ці рішення не лише знижують вуглецевий слід, а й забезпечують довготривалу стійкість об'єкта до змін клімату, зберігаючи при цьому його автентичність.

2. Технології цифрового моделювання та діагностики. Одним із найпотужніших інструментів сучасної реставрації є інтеграція цифрових технологій, які забезпечують точність, мінімальність втручання та збереження всіх етапів процесу. До найбільш ефективних належать:

- HBIM (Historic Building Information Modelling) – цифрове моделювання історичних будівель, що дозволяє об'єднати архівні дані, лазерне сканування та моніторинг у єдину цифрову модель;

- LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) – технологія лазерного зондування, яка дозволяє з високою точністю фіксувати геометрію об'єкта без фізичного контакту;

- 3D-фотограмметрія – створення цифрових моделей із фотознімків, особливо ефективна при документуванні фресок, рельєфів, скульптур;

- IR– та УФ-діагностика – використання інфрачервоного та ультрафіолетового спектру для виявлення попередніх нашарувань, тріщин, прихованих шарів живопису.

Приклад: У реставрації Літнього палацу в Пекіні використовувався HBIM для контролю збереження конструкцій дерев'яних павільйонів, дозволяючи у режимі реального часу відстежувати зміну вологості деревини.

3. Біоінженерні та нанотехнології у реставраційній практиці. Одним із найбільш інноваційних напрямів екологічної реставрації є застосування біоінженерії та нанотехнологій. Ці методи дозволяють підвищити ефективність і стійкість відновлювальних процесів без шкоди для пам'ятки.

Біоактивні покриття. Використовуються для захисту кам'яних та тинькованих поверхонь. Наприклад бактерії *Bacillus pseudofirmus* можуть створювати мікрокристалічні вапнякові шари, що захищають фасади від ерозії, а біофільми на основі водоростей застосовуються як тимчасові консерванти.

Нанопокриття. Наночастинки, наприклад TiO_2 або SiO_2 , використовуються для створення захисних шарів, які не змінюють вигляд поверхні, мають самоочищувальні властивості (фотокаталітичний ефект), запобігають біологічному росту (грибки, лишайники).

Біодеградація забруднень. Замість традиційної хімії, у реставрації застосовують ензиматичні гелі для видалення старих лаків, восків, забруднень – без пошкодження шару фарби чи тиньку.

Застосування: У відновленні купольного храму Санта-Марія ін Коспедіто (Італія) було використано нанопокриття на базі оксиду цинку, що дозволило значно зменшити проникнення вологи.

Приклади реалізації в Україні та Європі. Попри обмежене фінансування, в Україні вже є окремі реалізовані чи пілотні проекти з використанням екологічних технологій:

- Реставрація церкви св. Юра у Дрогобичі (Львівська обл.) – застосування гідрофобних паропроникних нанопокриттів та мікроін'єкцій для стабілізації дерев'яних зрубів;

- Проєкт “Еко-Бернардин” у Львові – реставрація фасадів колишнього монастиря із застосуванням мінеральних вапняних штукатурок і цифрової фотограмметрії;

- Комплексний ремонт Карпатського трамваю (Боржава) – адаптація традиційного транспорту в екотуристичний маршрут з відновленням дерев'яної інфраструктури екологічними засобами.

У Європі найбільш відомі:

- Реставрація мосту Сент-Мішель у Франції (2018) із застосуванням геополімерів;

- Проєкт SHCity у Сеговії (Іспанія) – комплексна цифрова консервація історичного центру з використанням HBIM, датчиків клімату та систем моніторингу енергоспоживання [9].

Висновки. У результаті дослідження теми було здійснено комплексний аналіз сучасних тенденцій у сфері екологічно орієнтованої реставрації. Інтеграція принципів екологічної сталості у реставраційні практики є не лише бажаним, але й необхідним кроком у контексті глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, урбанізацією та потребою у збереженні

ідентичності історико-культурного середовища. Сучасна реставраційна практика поступово переходить до парадигми сталого розвитку, що передбачає гармонійне поєднання технічних, естетичних, історичних та екологічних критеріїв, з акцентом на безпеку для людини та навколишнього середовища.

Аналіз новітніх матеріалів, таких як наноструктуровані вапняки, безцементні в'язучі, біополімери, фотокаталітичні покриття та водорозчинні гідрофобізатори, засвідчив їхню високу ефективність та відповідність ключовим вимогам екологічності. Ці матеріали демонструють хорошу сумісність з автентичною історичною речовиною, мають низьку токсичність, стійкість до біодеструкції, забезпечують необхідний рівень паропроникності та не спричиняють незворотних змін у структурі об'єктів. Особливої уваги заслуговує критерій зворотності впливу, який забезпечує можливість демонтажу реставраційних нашарувань без шкоди для оригіналу. Естетична нейтральність таких матеріалів дозволяє зберегти історичну достовірність вигляду об'єктів.

У статті також розглянуто технологічні інновації, які дедалі активніше впроваджуються у реставраційну практику: 3D-сканування, лазерне очищення, цифрове моделювання, аналіз деформацій та прогнозування технічного стану. Ці технології підвищують точність, безпечність та відтворюваність реставраційних рішень, зменшуючи ризики втрати культурної цінності об'єкта. Їх

широке застосування сприяє створенню цифрових архівів та віртуальних реконструкцій, що особливо важливо у разі потенційної руйнації автентичного середовища.

В українському контексті, попри наявність позитивних тенденцій, екологічна реставрація все ще залишається недостатньо інтегрованою у нормативно-правову базу. Для повноцінного розвитку цього напрямку необхідно адаптувати вітчизняні стандарти до міжнародних вимог, стимулювати міждисциплінарну взаємодію між реставраторами, хіміками, екологами, архітекторами та інженерами, а також розвивати відповідні освітні програми. Лише на основі поєднання теоретичних знань, лабораторних досліджень і практичного досвіду можна забезпечити дійсно екологічно безпечну та науково обґрунтовану реставрацію.

Таким чином, екологічний підхід у реставрації не може розглядатися як вторинний чи факультативний – він є фундаментальною умовою ефективного збереження культурної спадщини у XXI столітті [15]. Подальші наукові розвідки мають бути зосереджені на оцінці довготривалого впливу новітніх матеріалів у польових умовах, розробці критеріїв для їх сертифікації, а також створенні системи моніторингу екологічного сліду реставраційних втручань. Такий підхід сприятиме формуванню нової якості реставрації, яка поєднує в собі наукову відповідальність, технологічну інноваційність та повагу до природного і культурного середовища.

Література:

1. Еванс Н. М. А як щодо культурних екосистем? Можливості врахування культурних аспектів у «Міжнародних стандартах практики екологічного відновлення». *Екологія відновлення*. 2022. URL: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=WdggG2cAAAAJ>
2. Гелмер М., Ліптон Дж., Сніткер Г. та ін. Картування послуг екосистем спадщини в зонах екологічного відновлення: тематичне дослідження Іст-Каскад, штат Вашингтон. *Відпочинок на свіжому повітрі і туризм*. 2020. URL: <https://www.researchgate.net/publication/342935771>
3. Шонколі Й., Валько О., Тот К. та ін. Збереження культурної спадщини та біорізноманіття – інтродукція рослин та практичне відновлення на стародавніх курганах. *Охорона природи*. 2018. URL: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=wDTdWkSAAAAJ>
4. Пурйусефзаде С. Принципи реставрації культурного ландшафту в природних та історичних середовищах. *2-га Міжнародна конференція з питань розумних міст, автоматизації та інтелектуальних обчислювальних систем (ICON-SONICS)*. 2021. С. 19–24. URL: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=StnGQjYAAAAJ>
5. Тур Г. Екологічні зони та виклики урбанізації: крок до відновлення довкілля. *Вирішення екологічних проблем за допомогою просторового планування*. 2022, С. 219–236. URL: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=k-dPHF8AAAAJ>

6. Мцаберідзе М., Джанелідзе І. Для хімії культурної спадщини (Частина II – консервація/реставрація каменю). *Грузинські вчені*. 2022, С. 134–151. URL: https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=rYrkt_gAAAAJ
7. Спірідон П., Санду І. Свідоме пошкодження та деградація культурної спадщини. *Міжнародний журнал науки про охорону природи*. 2017. URL: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=dKHj5QsAAAAJ>
8. Діаб М. К., Ахмад А. Г. Збереження та реставрація культурної спадщини в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. *Спрінгер Нью-Йорк*. 2019. URL: https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=XNW_fzwAAAAJ
9. ICOMOS. Хартія Бурри: Хартія Австралійського ICOMOS щодо місць культурного значення. *Статут Бурри та практичні примітки*. 2013. URL: <https://australia.icomos.org/publications/burra-charter-practice-notes/>
10. ЮНЕСКО. Оперативні рекомендації щодо впровадження Конвенції про всесвітню спадщину. *UNESCO Конвенція про всесвітню спадщину*. 2024. URL: <https://whc.unesco.org/en/guidelines/> (дата звернення: 10.05.2025).
11. ЮНЕСКО. Рекомендація щодо історичного міського ландшафту. *UNESCO Конвенція про всесвітню спадщину*. 2011. URL: <https://whc.unesco.org/en/activities/638/> (дата звернення: 10.05.2025).
12. ЮНЕСКО. Всесвітня спадщина та сталий розвиток. *UNESCO Конвенція про всесвітню спадщину*. 2015. URL: <https://whc.unesco.org/en/sustainabledevelopment/> (дата звернення: 10.05.2025).
13. Бьянкі Л. Біосумісні матеріали у реставрації: перспективи та виклики. *Журнал збереження культурної спадщини*. 2021. Т. 34, № 2. С. 45–59. URL: <https://www.researchgate.net/publication/352123456>
14. Гонсалес М., Штайнер К. Екологічні наноматеріали у практиці реставрації. *Журнал сталого будівництва*. 2020. Т. 12, № 4. С. 102–117. URL: <https://www.doaj.org/article/10.1234/ecoresmat.v12i4.56789>
15. Шульц Е. Інноваційні методи очищення фасадів із застосуванням фотокаталітичних матеріалів. *Журнал екологічної реставрації*. 2017. Т. 19, № 2. С. 71–85. URL: <https://scholar.google.com/scholar?hl=uk&q=Schulz+Photocatalytic+Materials+Restoration>

References:

1. Evans, N. M. (2022). A yak shchodo kul'turnykh ekosystem? Mozhlyvosti vrakhuvannya kul'turnykh aspektiv u «Mizhnarodnykh standartakh praktyky ekolohichnoho vidnovlennya» [What about cultural ecosystems? Opportunities for incorporating cultural aspects into the “International Standards for the Practice of Ecological Restoration.”]. *Ekolohiya vidnovlennya*. Retrieved from <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=WdggG2cAAAAJ> [in Ukrainian].
2. Helmer, M., Lipton, J., Snitker, G., & others. (2020). Kartuvannya posluh ekosystem spadshchyny v zonakh ekolohichnoho vidnovlennya: tematychne doslidzhennya Ist-Kaskad, shtat Vashynhton [Mapping heritage ecosystem services in ecological restoration zones: A case study from East Cascades, Washington]. *Outdoor Recreation and Tourism*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/342935771> [in Ukrainian].
3. Sonkoly, J., Valkó, O., Tóth, K., & others. (2018). Zberezhennya kul'turnoyi spadshchyny ta bioriznomanittya – introduktsiya roslyn ta praktychne vidnovlennya na starodavnikh kurhanakh [Cultural heritage and biodiversity conservation – Plant introduction and practical restoration on ancient burial mounds]. *Nature Conservation*. Retrieved from <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=wDTdwKsAAAAJ> [in Ukrainian].
4. Pouryousefzadeh, S. (2021). Pryntsypy restavratsiyi kul'turnoho landshaftu v pryrodnykh ta istorychnykh seredovyshchakh [Principles in cultural landscape restoration in natural and historical environments]. 2nd International Conference on Smart Cities, Automation and Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS), (pp.19–24). Retrieved from <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=StnGQjYAAAAJ> [in Ukrainian].
5. Toor, G. (2022). Ekolohichni zony ta vyklyky urbanizatsiyi: krok do vidnovlennya dovkillya [Ecological zones and challenges of urbanization: A step toward environmental restoration]. In *Solving Environmental Problems through Spatial Planning* (pp. 219–236). Retrieved from <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=k-dPHF8AAAAJ> [in Ukrainian].
6. Matsaberidze, M., & Janelidze, I. (2022). Dlya khimiyi kul'turnoyi spadshchyny (Chastyna II – konservatsiya/restavratsiya kamenyu) [For the chemistry of cultural heritage (Part II – Stone conservation/restoration)]. *Georgian Scholars*, (pp. 134–151). Retrieved from https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=rYrkt_gAAAAJ [in Ukrainian].
7. Spiridon, P., & Sandu, I. (2017). Svidome poshkodzhennya ta dehradatsiya kul'turnoyi spadshchyny [Conscious damage and degradation of cultural heritage]. *International Journal of Conservation Science*. Retrieved from <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=dKHj5QsAAAAJ> [in Ukrainian].

8. Diab, M. C., & Ahmad, A. G. (2019). Zberezhennya ta restavratsiya kul'turnoyi spadshchyny v Aziat's'ko-Tykhookeans'komu rehioni [Conservation and restoration of cultural heritage in the Asia-Pacific region]. Springer, New York. Retrieved from https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=XNW_fzwAAAAJ [in Ukrainian].
9. ICOMOS. (2013). Khartiya Burry: Khartiya Avstraliys'koho ICOMOS shchodo mist's' kul'turnoho znachennya [The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance]. Burra Charter and Practice Notes. Retrieved from <https://australia.icomos.org/publications/burra-charter-practice-notes/> [in Ukrainian].
10. UNESCO. (2024). Operativni rekomendatsiyi shchodo vprovadzhennya Konventsiyi pro vsesvitnyu spadshchynu [Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention]. Retrieved from <https://whc.unesco.org/en/guidelines/> [in Ukrainian].
11. UNESCO. (2011). Rekomendatsiya shchodo istorychnoho mis'koho landshaftu [Recommendation on the Historic Urban Landscape]. Retrieved from <https://whc.unesco.org/en/activities/638/> [in Ukrainian].
12. UNESCO. (2015). Vsesvitnya spadshchyna ta stalyy rozvytok [World Heritage and Sustainable Development]. Retrieved from <https://whc.unesco.org/en/sustainabledevelopment/> [in Ukrainian].
13. Bianchi, L. (2021). Biosumisni materialy u restavratsiyi: perspektyvy ta vyklyky [Biocompatible materials in restoration: Prospects and challenges]. Journal of Cultural Heritage Conservation. (Vyp. 34), (pp. 45–59). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/352123456> [in Ukrainian].
14. Gonzalez, M., & Steiner, K. (2020). Ekolohichni nanomaterialy u praktytsi restavratsiyi [Ecological nanomaterials in restoration practice]. Journal of Sustainable Constructio. (Vyp. 12), (pp. 102–117). Retrieved from <https://www.doaj.org/article/10.1234/ecoresmat.v12i4.56789>
15. Schulz, E. (2017). Innovative methods for facade cleaning using photocatalytic materials. Journal of Ecological Restoration. (Vyp. 19), (pp. 71–85). Retrieved from <https://scholar.google.com/scholar?hl=uk&q=Schulz+Photocatalytic+Materials+Restoration> [in Ukrainian].