

УДК 630.2:502.131.1

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-12>

Ірина ПАЦЕВА

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Анастасія КАГУКІНА

доктор філософії з екології, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0001-8932-1211

Інна МОЖАРІВСЬКА

кандидат сільськогосподарський наук, доцент кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0003-0564-4457

Бібліографічний опис статті: Пацева, І., Кагукіна А., Можарівська І. (2025). Наукові підходи до вирішення проблем відновлення лісових екосистем. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 95–101, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-12>

НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ВІДНОВЛЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

У статті розглядаються різноманітні аспекти та підходи, пов'язані з питанням відновлення лісових екосистем у сучасних умовах. Актуальність обраної тематики зумовлена зростаючою увагою наукової та практичної спільноти до необхідності гармонізації природного середовища та забезпечення екологічного балансу. Лісові екосистеми відіграють ключову роль у функціонуванні біосфери, адже саме вони сприяють збереженню кліматичної рівноваги, забезпечують кисневий обмін, регулюють водні ресурси та слугують осередком біологічного різноманіття. Їхнє виснаження або руйнування спричиняє низку серйозних екологічних проблем. Проаналізовано загальні принципи та напрями, які можуть бути використані у процесі відновлення лісових екосистем, з акцентом на багатовимірність і складність взаємодії між природними, соціальними та технологічними елементами. У центрі уваги знаходиться ідея про важливість комплексного бачення, що дозволяє поєднувати традиційні знання з новітніми розробками, створюючи підґрунтя для формування стійких екосистем. Окрему увагу приділено розмаїттю підходів, які можуть бути застосовані залежно від специфіки території, кліматичних умов та інших чинників. Підкреслюється значення цілісного підходу до вирішення проблем, що потребує гнучкості, адаптивності та урахування багатьох змінних. Стаття має на меті узагальнення наявного досвіду та окреслення потенційних шляхів для подальших досліджень у цій сфері, що є важливим кроком до більш глибокого розуміння процесів, які відбуваються у лісових екосистемах. Представлений матеріал може бути корисним для широкого кола фахівців, зацікавлених у питаннях сталого природокористування, охорони довкілля та відновлення природної рівноваги. Результати дослідження мають практичну цінність для розробки національних і регіональних програм відновлення лісів, орієнтованих на довготривалу екологічну стійкість.

Ключові слова: лісові екосистеми, відновлення лісових екосистем, зміна клімату, наукові підходи.

Iryna PATSEVA

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Anastasiia KAHUKINA

Doctor of Philosophy in Ecology, Lecturer at the Department of Earth Sciences, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0001-8932-1211

Inna MOZHARIVSKA

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Environmental Health and Food Quality, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0003-0564-4457

To cite this article: Patseva, I., Kahukina, A., Mozharivska, I. (2025). Naukovi pidkhody do vyryshennia problem vidnovlennia lisovykh ekosystem [Scientific approaches to solving problems of forest ecosystem restoration]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 95–101, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-12>

SCIENTIFIC APPROACHES TO SOLVING PROBLEMS OF FOREST ECOSYSTEM RESTORATION

The article discusses various aspects and approaches related to the restoration of forest ecosystems in modern conditions. The relevance of the chosen topic is due to the growing attention of the scientific and practical community to the need to harmonise the natural environment and ensure ecological balance. Forest ecosystems play a key role in the functioning of the biosphere, as they contribute to maintaining climate balance, ensure oxygen exchange, regulate water resources and serve as a centre of biodiversity. Their depletion or destruction causes a number of serious environmental problems. The article analyses the general principles and directions that can be used in the process of restoring forest ecosystems, with an emphasis on the multidimensionality and complexity of the interaction between natural, social and technological elements. The focus is on the importance of an integrated vision that combines traditional knowledge with the latest developments, creating the basis for the formation of sustainable ecosystems. Special attention is paid to the variety of approaches that can be applied depending on the specifics of the territory, climatic conditions and other factors. The importance of a holistic approach to problem-solving, which requires flexibility, adaptability and consideration of many variables, is emphasised. The article aims to summarise the existing experience and outline potential avenues for further research in this area, which is an important step towards a deeper understanding of the processes taking place in forest ecosystems. The material presented here can be useful for a wide range of professionals interested in sustainable natural resource management, environmental protection and restoration of natural balance. The results of the study are of practical value for the development of national and regional forest restoration programmes focused on long-term environmental sustainability.

Key words: forest ecosystems, restoration of forest ecosystems, climate change, scientific approaches.

Актуальність проблеми. Відновлення екосистем визнано критично важливим для досягнення прискореного прогресу в досягненні всіх Цілей сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (Rakova & Winter, 2020). Лісові екосистеми відіграють ключову роль у підтримці біосферного балансу планети. Вони забезпечують регуляцію клімату, збереження біорізноманіття, захист ґрунтів та водних ресурсів. Проте за останні десятиліття масштаби деградації лісів значно зросли внаслідок інтенсивного господарювання, зміни клімату та антропогенного тиску. Це зумовлює необхідність комплексного відновлення лісових екосистем, де провідну роль відіграють наукові дослідження та міждисциплінарні підходи. Попередні дослідження підтверджують актуальність проблеми загибелі лісів (Савчук,

Шулипа, 2025; Джам, Дяк, Гулай, Караїм, Лавринюк, 2024; Лавринюк, Войцеховський, Гулай, Караїм, Джам, 2024). Лісові екосистеми є одними з найбільш важливих компонентів біосфери, що забезпечують глобальний баланс кисню, стабілізують клімат, регулюють гідрологічний цикл та підтримують біорізноманіття планети. Деградація лісових екосистем призводить до катастрофічних наслідків: втрати біорізноманіття, ерозії ґрунтів, збільшення концентрації парникових газів в атмосфері (Kahukina, Patseva, 2025; Герасимчук, 2023; Луньова, Кагукіна, 2023) порушення водного балансу та погіршення якості життя місцевих громад. При цьому швидкість відновлення природних лісів значно нижча за темпи їх знищення, що створює загрозу екологічній безпеці цілих регіонів.

В Україні ситуація особливо гостра через інтенсивне лісокористування протягом останніх десятиліть, масштабні незаконні вирубки, зростання частоти лісових пожеж, а також загострення впливу кліматичних змін (Кагукіна, Пацева, 2025; Кагукіна, Пацева, 2024; Пацева, Кагукіна, Луньова, 2023), що проявляється у підвищенні середньорічних температур та частіших посухах. Окрім того, російська військова агресія спричинила додаткові масштабні пошкодження лісових екосистем через бойові дії, пожежі та забруднення.

Відтак, розробка та впровадження ефективних науково обґрунтованих підходів до відновлення лісових екосистем є критично важливим завданням не лише для збереження природного спадку та біорізноманіття, але й для забезпечення сталого екологічного, економічного та соціального розвитку держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кількість лісових пожеж зростатиме зі зростанням температури внаслідок зміни клімату (Pati et al., 2024; Пацева, Кагукіна, 2024; Пацева, Кагукіна, 2023). Сучасні наукові дослідження підтверджують, що лісові екосистеми відіграють критично важливу роль у забезпеченні екологічних, економічних і соціокультурних функцій (Keenan et al., 2015). Зростання частоти лісових пожеж, викликаних як природними, так і антропогенними чинниками (Nyongesa & Vacik, 2018), вимагає впровадження комплексного підходу до відновлення. Актуальні публікації наголошують на важливості інтеграції екологічних, економічних та соціальних аспектів (Stanturf et al., 2014), просторово-статистичному аналізі причин пожеж (Tariq et al., 2021), та участі місцевих громад у відновлювальних заходах (Rakova & Winter, 2020).

Особливу увагу дослідники приділяють традиційним знанням у поєднанні з інноваційними технологіями, зокрема машинним навчанням (Rakova & Winter, 2020). Крім того, вказується на необхідність ревайлдингу, відновлення трофічних ланцюгів і довготривалої стійкості лісових екосистем (Marshall et al., 2023).

Методологічні огляди (Shimamoto et al., 2018; Fernandes & Botelho, 2003) підтверджують ефективність природної регенерації та адаптивного управління, особливо у відновленні після пожеж. Водночас, дослідження (Aerts & Honnay, 2011) підкреслюють значення

екосистемного і спільнотного підходів, які враховують як функціональні, так і біорізноманітні характеристики екосистем.

Таким чином, сучасні наукові підходи базуються на мультидисциплінарному аналізі, що поєднує просторові технології, екологічні знання, участь громад та адаптивне управління.

Метою дослідження є систематизація, аналіз та оцінка сучасних наукових підходів до вирішення проблем відновлення лісових екосистем, визначення їх ефективності та можливостей практичного застосування в умовах України з урахуванням регіональних особливостей, кліматичних змін та антропогенного навантаження. Проаналізовано та систематизовано сучасні наукові підходи до відновлення лісових екосистем. Оцінено потенціал застосування інноваційних технологій у процесах відновлення лісових екосистем. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення процесів лісовідновлення.

Виклад основного матеріалу дослідження. У світлі зростаючих екологічних викликів, спричинених змінами клімату, антропогенним тиском та деградацією природного середовища, питання відновлення лісових екосистем набуває особливої актуальності в науковому і практичному дискурсі. Сучасна парадигма екологічного відновлення вже давно перестала обмежуватися виключно біологічним або технологічним відтворенням лісового покриву. Натомість дедалі більше уваги приділяється комплексному, міждисциплінарному підходу, який інтегрує екологічні, економічні, соціокультурні та технологічні аспекти.

Ліси надають численні економічні, екологічні, суспільні культурні переваги, які є прибутками для добробуту людини протягом тривалого розвитку (Keenan et al., 2015). Насамперед, ліс розглядається не лише як джерело ресурсів, а як складна соціоекологічна система, здатна забезпечувати низку екосистемних послуг, включно з регуляцією клімату, збереженням біорізноманіття, захистом ґрунтів і водних ресурсів, а також підтримкою культурних практик і способу життя локальних громад (Keenan et al., 2015). Саме така багатовимірна характеристика лісів вимагає від науковців розробки інноваційних та адаптивних моделей відновлення, що виходять за межі традиційного лісонасадження.

В останні десятиріччя відзначається збільшення частоти та інтенсивності лісових пожеж через природні та антропогенні фактори, що часто спричиняє значних збитків (Nyongesa & Vacik, 2018). Особливої уваги заслуговує інтенсивне зростання кількості та площ лісових пожеж, що обумовлено як природними процесами, так і людською діяльністю (Nyongesa & Vacik, 2018). У цьому контексті важливо впроваджувати підходи, що враховують просторову динаміку, аналізуючи причинно-наслідкові зв'язки між ландшафтними характеристиками та ймовірністю виникнення пожеж. Просторова характеристика розподілу лісових пожеж та їх причин має вирішальне значення для пом'якшення та гасіння лісових загорянь, включаючи запровадження превентивних заходів (Tariq et al., 2021). Відповідно, необхідність просторово-статистичного та геоінформаційного моніторингу стає невід'ємною частиною сучасного підходу до планування заходів з відновлення.

У статті Богдани Ракової та Александра Вінтера обговорюється інтеграція традиційних екологічних знань з сучасними технологіями, такими як машинне навчання, для ефективного відновлення екосистем, автори підкреслюють важливість врахування соціокультурних аспектів та залучення місцевих громад до процесу відновлення (Rakova & Winter, 2020). Таким чином, ще одним перспективним напрямом є інтеграція традиційних екологічних знань із сучасними технологіями, такими як машинне навчання. Поєднання емпіричних знань місцевих громад із точністю обчислювальних методів створює передумови для виникнення нових форм взаємодії людини з природним середовищем, що, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності екологічних проєктів та забезпечує їх довгострокову стійкість.

У роботах (Stanturf et al., 2014; Aerts & Nonnay, 2011) висвітлюється важливість функціонального та структурного підходів до відновлення, де акцент робиться не лише на фізичному відновленні лісового покриву, але й на реінтеграції екологічних функцій, таких як трофічна взаємодія, кругообіг поживних речовин та підтримка ландшафтною мозаїчності.

Збереження та відновлення лісів знаходяться в центрі глобальних зусиль щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та запобігання масовому

вимиранню біорізноманіття (Marshall et al., 2023). Відновлення лісових екосистем є важливим напрямом у боротьбі зі зміною клімату та збереженні біорізноманіття. У цьому контексті дана концепція є одним із найпрогресивніших напрямів, що передбачає повернення до екосистемних умов, які існували до значного антропогенного втручання.

Не менш важливим є фактор адаптивного управління в умовах глобальної зміни клімату. Стратегії повинні враховувати як довготривалі екологічні зміни, так і локальні особливості конкретного регіону, включаючи соціально-економічну ситуацію, культурні цінності, рівень обізнаності та участі громад. Це особливо актуально в контексті регіонів, що зазнали значних екологічних втрат через пожежі або інші деструктивні явища (Fernandes & Botelho, 2003; Alayan et al., 2022). У статті, опублікованій у журналі (Fernandes & Botelho, 2003), аналізуються підходи до відновлення лісів після пожеж, включаючи використання контрольованих підпалів для підтримки здоров'я лісових екосистем. Автори підкреслюють важливість адаптивного управління та врахування місцевих умов при плануванні відновлення. Контрольовані підпали можуть сприяти відновленню природних процесів та підтриманню біорізноманіття. У статті (Aerts & Nonnay, 2011), розглядаються два основні підходи до відновлення лісів: спільнотний та екосистемний. Спільнотний підхід фокусується на відновленні структури та біорізноманіття лісових спільнот, використовуючи природні сукцесійні процеси та взаємодії між видами. Екосистемний підхід, натомість, спрямований на відновлення функціональних аспектів екосистем, таких як продуктивність, енергетичні потоки та біогеохімічні цикли. Обидва підходи мають свої переваги та можуть бути ефективними залежно від конкретних умов та цілей відновлення.

Таким чином, наукові підходи до відновлення лісових екосистем у XXI столітті повинні бути багатовекторними, гнучкими, інклюзивними та стійкими до викликів часу. Вони мають базуватися на поєднанні глибоких теоретичних засад із практичними інструментами сучасної науки, екологічної етики та гуманітарного бачення сталого майбутнього.

Сучасні наукові дослідження у сфері відновлення лісових екосистем свідчать про перехід

від традиційних, переважно технократичних методів до інтегрованих, трансдисциплінарних підходів.

Згідно з (Stanturf et al., 2014) та (Aerts & Nonnau, 2011), ефективне відновлення лісів має охоплювати три ключові рівні, оскільки проблеми, з якими стикаються лісові екосистеми, мають комплексний характер, а отже і відповіді на них повинні включати взаємодію різних акторів – від науковців до місцевих жителів. Це вимагає створення відкритих екологічних платформ, де місцева громада та екологи могли б співпрацювати, розробляючи гнучкі сценарії відновлення з урахуванням історичних, культурних та природних умов конкретної місцевості. Цінна ідея поєднання машинного навчання із традиційними екологічними знаннями (Rakova & Winter, 2020) розширює межі ефективного аналізу даних, а й підсилює соціальну складову відновлення – залучення громад дає змогу зробити процес не тільки технологічно обґрунтованим, а й соціально легітимним.

Майбутнє лісового відновлення – за інтерактивними, адаптивними моделями, які враховують не лише дані з дронів чи супутників, а й голоси старійшин, лісників, фермерів, які десятиліттями спостерігали за місцевими екосистемами.

Пожежі стають глобальним викликом, а не лише регіональною проблемою. У цьому контексті дослідження (Nyongesa & Vacik, 2018) та (Fernandes & Botelho, 2003) чітко показують необхідність створення інтегрованих протипожежних стратегій, які не просто гасять вогонь, а керують ним. Наприклад, контрольовані підпали можуть відновлювати природні екологічні процеси. Доцільно розробляти регіональні програми ризик-менеджменту, які включатимуть картування вразливості, екологічне моделювання сценаріїв пожеж і розробку інфраструктури превентивного реагування.

Важливо відходити від «універсальних рішень» до моделей, які змінюються відповідно

до контексту, клімату, економіки та людського фактору.

Наукові підходи до відновлення лісів більше не можуть бути суто біологічними або лісогосподарськими. Вони повинні бути антропоцентричними, екосистемними та технологічно підсиленими. Лише така інтеграція – з урахуванням традицій, технологій, екології та соціальної відповідальності – забезпечить не лише повернення дерев, а й відновлення гармонії між людиною та природою.

Аналіз сучасних наукових джерел, присвячених проблематиці відновлення лісових екосистем, дозволяє сформулювати рекомендації, які сприятимуть підвищенню ефективності лісовідновлювальних заходів у контексті екологічних викликів сьогодення. Слід віддавати перевагу природним процесам, підтримуючи їх активними заходами, зокрема охороною територій, запобіганням випасу, контролем ерозії тощо. Необхідно орієнтувати відновлення не лише на деревну рослинність, а на повноцінне функціонування екосистеми. Інтеграція традиційних практик з сучасними інструментами дозволяє досягти більш стійких результатів як для екосистем, так і для місцевого добробуту. Будь-які екологічні ініціативи потребують широкого суспільного розуміння та підтримки. Рекомендується впроваджувати інформаційно-освітні кампанії, інтегрувати екологічну освіту в навчальні програми та створювати публічно доступні інформаційні платформи про цілі, процеси й результати лісовідновлення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Наукове забезпечення процесів відновлення лісових екосистем є основою для їх довготривалої стабільності та стійкості. Інтеграція екологічних, біотехнологічних, інформаційних та управлінських підходів дозволяє ефективно вирішувати проблеми деградації лісів. Подальший розвиток міждисциплінарних досліджень і міжнародної співпраці є ключем до успішного відновлення лісових ландшафтів на глобальному рівні.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Rakova B., Winter A. Leveraging traditional ecological knowledge in ecosystem restoration projects utilizing machine learning. ACM Knowledge Discovery and Data Mining (KDD) 2020 Conference Workshop “Fragile Earth: Data Science for a Sustainable Planet”, August 23–27, 2020, Virtual Conference. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.12387>.
2. Keenan R. J., Reams G. A., Achard F., de Freitas J. V., Grainger A., Lindquist E. Dynamics of global forest area: results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 352. P. 9–20.

3. Kahukina A., Patseva I. Assessment and forecast of atmospheric pollutant dynamics in the urban ecosystem of Zhytomyr. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 2(3(82)). P. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326893>
4. Nyongesa K. W., Vacik H. Fire management in Mount Kenya: a case study of Gathiuru Forest Station. *Forests*. 2018. Vol. 9. P. 481.
5. Stanturf J. A., Palik B. J., Dumroese R. K. Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 331. P. 292–323.
6. Tariq A., Shu H., Siddiqui S. та ін. Forest fire monitoring using spatial-statistical and geo-spatial analysis of factors determining forest fire in Margalla Hills, Islamabad, Pakistan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2021. Vol. 12. P. 1212–1233.
7. Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Взаємозв'язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1(58). С. 58–64.
8. Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Графічний аналіз закономірностей сезонних температурних коливань та концентрації забруднювачів атмосфери міського середовища. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 5(56). С. 193–197.
9. Marshall A. R., Waite C. E., Pfeifer M. та ін. Fifteen essential science advances needed for effective restoration of the world's forest landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2023. Vol. 378. Article ID: 20210065. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.2021.0065>
10. Пацева І. Г., Кагукіна А. М., Луньова О. В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156–159.
11. Aerts R., Honnay O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*. 2011. Vol. 11. Article ID: 29. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>
12. Alayan R., Rotich B., Lakner Z. A comprehensive framework for forest restoration after forest fires in theory and practice: a systematic review. *Forests*. 2022. Vol. 13(9). Article ID: 1354. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13091354>
13. Uprety Y., Asselin H., Bergeron Y., Doyon F., Boucher J.F. Contribution of traditional knowledge to ecological restoration: practices and applications. *Écoscience*. 2012. Vol. 19. P. 225–237.
14. Shimamoto C. Y., Padial A. A., da Rosa C. M., Marques M. C. M. Restoration of ecosystem services in tropical forests: a global meta-analysis. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13(12). Article ID: e0208523. DOI: [10.1371/journal.pone.0208523](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208523)
15. Pati K., Kaushik P., Malasiya D. та ін. Impacts of forest fire frequency on structure and composition of tropical moist deciduous forest communities of Bandhavgarh Tiger Reserve, Central India. *Trees, Forests and People*. 2024. Vol. 15. Article ID: 100489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100489>
16. Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ECOCITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23–31.
17. Пацева І. Г., Кагукіна А. М. Коефіцієнти суттєвості відхилень середньомісячних показників температури повітря та кількості опадів в місті Житомир. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 2(53). С. 238–242.
18. Луньова О. В., Кагукіна А. М. Аналіз антропогенного забруднення Житомирського регіону. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 48–52.
19. Савчук, Л., Шуліпа, Р. Моніторинг загибелі деревостанів у Звірівському лісництві. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. Вип.1. С. 83–87. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-1-11>
20. Пацева І. В., Кагукіна А. М. Адаптація до зміни клімату міста Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 3. С. 66–72.
21. Джам, О., Дяк, Т., Гулай, Л., Караїм, О., & Лавринюк, З. Моніторинг екологічного стану лісових ресурсів Філії «Рафалівське лісове господарство» ДП «Ліси України». *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2024. Вип. 4. С. 49–56. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-7>
22. Лавринюк, З., Войцеховський, І., Гулай, Л., Караїм, О., & Джам, О. Еколого-статистичний аналіз лісовідновлювальної діяльності у Волинській області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2024. Вип. 2. С. 36–47. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-5>

REFERENCES:

1. Rakova, B., & Winter, A. (2020). Leveraging traditional ecological knowledge in ecosystem restoration projects utilizing machine learning. In *ACM Knowledge Discovery and Data Mining (KDD) 2020 Conference Workshop «Fragile Earth: Data Science for a Sustainable Planet» (August 23–27, 2020, Virtual Conference)*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.12387>
2. Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., & Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 9–20.

3. Kahukina, A., & Patseva, I. (2025). Assessment and forecast of atmospheric pollutant dynamics in the urban ecosystem of Zhytomyr. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(3(82)), 36–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326893>
4. Nyongesa, K. W., & Vacik, H. (2018). Fire management in Mount Kenya: A case study of Gathiuru Forest Station. *Forests*, 9, 481.
5. Stanturf, J. A., Palik, B. J., & Dumroese, R. K. (2014). Contemporary forest restoration: A review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*, 331, 292–323.
6. Tariq, A., Shu, H., Siddiqui, S., et al. (2021). Forest fire monitoring using spatial-statistical and geo-spatial analysis of factors determining forest fire in Margalla Hills, Islamabad, Pakistan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12, 1212–1233.
7. Kahukina, A. M., & Patseva, I. H. (2025). Vzaiemozviazok meteorologichnykh parametriv ta zabrudniuiuchykh rehovyn u povitrianiomu baseini mista Zhytomyr [Correlation between meteorological parameters and pollutants in the air basin of Zhytomyr city]. *Ekologichni nauky*, 1(58), 58–64. [in Ukrainian]
8. Kahukina, A. M., & Patseva, I. H. (2024). Hrafichnyi analiz zakonomirnostei sezonnykh temperaturnykh kolyvan ta kontsentratsii zabrudniuvachiv atmosfery miskoho seredovyscha [Graphical analysis of seasonal temperature fluctuations and concentrations of urban atmospheric pollutants]. *Ekologichni nauky*, 5(56), 193–197. [in Ukrainian].
9. Marshall, A. R., Waite, C. E., Pfeifer, M., et al. (2023). Fifteen essential science advances needed for effective restoration of the world's forest landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 378, 20210065. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0065>
10. Patseva, I. H., Kahukina, A. M., & Luniova, O. V. (2023). Tendentsii zminy klimatu Zhytomyrshchyny [Climate change trends in Zhytomyr region]. *Ekologichni nauky*, 6(51), 156–159. [in Ukrainian]
11. Aerts, R., & Honnay, O. (2011). Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, 11, 29. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>
12. Alayan, R., Rotich, B., & Lakner, Z. (2022). A comprehensive framework for forest restoration after forest fires in theory and practice: A systematic review. *Forests*, 13(9), 1354. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13091354>
13. Upreti, Y., Asselin, H., Bergeron, Y., Doyon, F., & Boucher, J. F. (2012). Contribution of traditional knowledge to ecological restoration: Practices and applications. *Écoscience*, 19, 225–237.
14. Shimamoto, C. Y., Padial, A. A., da Rosa, C. M., & Marques, M. C. M. (2018). Restoration of ecosystem services in tropical forests: A global meta-analysis. *PLoS ONE*, 13(12), e0208523. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208523>
15. Pati, K., Kaushik, P., Malasiya, D., et al. (2024). Impacts of forest fire frequency on structure and composition of tropical moist deciduous forest communities of Bandhavgarh Tiger Reserve, Central India. *Trees, Forests and People*, 15, 100489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100489>
16. Kahukina, A. M., & Patseva, I. H. (2024). Analiz pokaznykiv monooksydu vuhletsu, dioksydu azotu ta amiaku v povitrianiomu baseini mista Zhytomyr za danymy hromadskoho monitorynhu povitria ECOCITY [Analysis of carbon monoxide, nitrogen dioxide and ammonia in the air basin of Zhytomyr city based on ECOCITY public air monitoring data]. *Ekologichni nauky*, 3(54), 23–31. [in Ukrainian].
17. Patseva, I. H., & Kahukina, A. M. (2024). Koefitsiienty suttievoho vidkhylenia serednomisiachnykh pokaznykiv temperatury povitria ta kilkosti opadiv v misti Zhytomyr [Significance coefficients of deviations of monthly average air temperature and precipitation in Zhytomyr city]. *Ekologichni nauky*, 2(53), 238–242. [in Ukrainian].
18. Luniova, O. V., & Kahukina, A. M. (2023). Analiz antropohennoho zabrudnennia Zhytomyrskoho rehionu [Analysis of anthropogenic pollution in the Zhytomyr region]. *Ekologichni nauky*, 3(48), 48–52. [in Ukrainian].
19. Savchuk, L., & Shulyipa, R. (2025). Monitorynh zahybeli derevostaniv u Zvirivskomu lisnytstvi [Monitoring of tree stand mortality in the Zvirivske forestry]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*, 1, 83–87. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-1-11> [in Ukrainian].
20. Patseva, I. V., & Kahukina, A. M. (2023). Adaptatsiia do zminy klimatu mista Zhytomyr [Adaptation to climate change in Zhytomyr city]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*, 3, 66–72. [in Ukrainian]
21. Dzham, O., Diak, T., Hulai, L., Karaiim, O., & Lavryniuk, Z. (2024). Monitorynh ekologichnogo stanu lisovykh resursiv Filii “Rafalivske lisove hospodarstvo” DP “Lisy Ukrainy” [Monitoring of the ecological state of forest resources of the Rafalivske Forest Enterprise branch of SE “Forests of Ukraine”]. *Problemy khimii ta staloho rozvyt*, 4, 49–56. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-7> [in Ukrainian].
22. Lavryniuk, Z., Voitsekhovskiy, I., Hulai, L., Karaiim, O., & Dzham, O. (2024). Ekoloho-statystychnyi analiz lisovidnovliuvainoi diialnosti u Volynskii oblasti [Ecological and statistical analysis of reforestation activities in Volyn region]. *Problemy khimii ta staloho rozvyt*, 2, 36–47. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-5> [in Ukrainian].