

UDC 69.059.3:502.131.1

Kaliuzhna N.I., student, 4th year, Б-101-22-1-EK, Faculty of Health Sciences
Kondrasheva Yu.S., student, 4th year, Б-101-22-1-EK, Faculty of Health Sciences
Scientific supervisor: Radomska M.M., Ph.D., Associate Professor
State University «Kyiv Aviation Institute»

POST-CONSTRUCTION REDESIGN OF BUILDINGS TOWARDS THE PRINCIPLES OF SUSTAINABILITY

In the face of global climate change and the rapid depletion of natural resources, the construction industry is confronted with a critical need for transformation. Traditional architectural approaches are increasingly giving way to the concept of sustainable development, which seeks a harmonious balance between building functionality, economic efficiency, and environmental responsibility.

The principles of sustainable design extend far beyond simple energy efficiency. They encompass the entire life cycle of a building - from the selection of renewable materials and waste minimization to ensuring a healthy and productive indoor microclimate for its occupants. The implementation of these principles is no longer a mere trend but a vital strategy for reducing the carbon footprint and fostering resilient urban environments for the future. This paper examines the core aspects of sustainable design and evaluates their impact on contemporary architectural practice.

Redesigning existing buildings for sustainability is critical, as buildings account for nearly 40 % of global carbon emissions. The analysis of available solutions demonstrates that the key perspective directions for such work include the following:

1. Energy Retrofitting and "Deep Renovation" involves upgrading building envelope by thermal insulation, installing smart automation able to optimize resources consumption depending on occupancy and system electrification to reduce the use of fossil-fuels use and related GHG emissions. This is the most popular type of redesigning.

2. Adaptive Reuse is the change of a building's function (e.g., turning an old factory into offices) to preserve the "embodied carbon" of the existing structure. This approach combines structural preservation and cultural continuity: it aims to reuse existing foundations and frames, as well as preserve architectural identity by embedding modern comfort standards.

3. Circular Economy Integration works on waste minimization, their tracking and re-use in the future. In particular, material passports contain digital records of all materials in a building to facilitate their easy tracking and reuse in the future. An important component of these direction is application of bio-based of responsible produced materials, such as certified timber, recycled metals, or carbon-sequestering materials (like hempcrete) which have a much lower manufacturing impact.

4. Climate Resilience is another major concern for existing buildings, which is addressed via water supply optimization and reuse (e.g., rainwater harvesting and graywater recycling) and nature-based solutions, like green roofs and walls, which mitigate the "urban heat island" effect, provide extra insulation, and manage stormwater runoff.

5. Digitalization of resources control and distribution has been around for a while, but recently it received a new boost due to AI deployment, which improved modelling and data processing capacity and offers digital twins - precise 3D replicas of old structures, allowing for accurate energy modeling and intervention planning.

Despite a wide variety of options there are still many obstacles for their implementation: financial limitations, inadequate reaction of citizens, operational and architectural limitations.

The other issue is that redesigning residential and industrial buildings follows significantly different strategies, due to their construction, scale, and intended use. Thus, residential buildings reconstruction focuses primarily on comfort, health, and social aspects, like reduction of utility costs, or addressing "energy poverty" for low-income residents. The limitations are very serious and include fragmented ownership of such buildings (it is often difficult to get legal consent from all homeowners in a multi-unit building), decaying infrastructure (pipes, wiring) and longer return on investment compared to commercial projects.

The dominant trend for industrial buildings is adaptive reuse, which promises spatial flexibility, renewable power generation potential and considerable reduction of carbon emissions. However, if the change of the purpose of such building is not considered, the possibilities shrink to improved insulation, energy efficiency and green roofs implementation. These call for new research actiona aimed at developing additional opportunities of industrial buildings, which ae still in use but their owners opt for SDGs. This work will also mean a major replanning of the landuse in the area, since old industrial zones often lack social infrastructure (transit, parks, shops), meaning the project requires neighborhood-wide revitalization rather than just a single building redesign.

Алехно О.М., студент 4-го курсу
Науковий керівник: Герасимчук Л.О., к.с.-г.н.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ З РОЗМІНУВАННЯ

Повномасштабні військові дії на території України призвели до значного забруднення довкілля, зокрема внаслідок мінування територій та використання вибухових боєприпасів [1-4, 6]. Після проведення робіт з розмінування виникає необхідність оцінки екологічного стану територій, оскільки механічні, хімічні та фізичні порушення можуть мати довготривалий вплив на екосистеми.

Моніторинг таких територій є важливою складовою забезпечення екологічної безпеки та сталого відновлення природних ресурсів. Сучасні дослідження підтверджують, що техногенне навантаження після вибухових процесів призводить до деградації ґрунтів, зміни їх фізико-хімічних властивостей і накопичення токсичних речовин.

В Законі України від 06.12.2018 № 2642-VIII «Про протимінну діяльність в Україні» визначено, що гуманітарне розмінування - комплекс заходів, які проводяться операторами протимінної діяльності з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та (або) знищення вибухонебезпечних предметів, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [5].

Розмінування супроводжується низкою негативних екологічних наслідків, які проявляються у різних компонентах довкілля. Вплив на ґрунтовий покрив проявляється у руйнуванні структури ґрунту, зниженні вмісту гумусу, забрудненні важкими металами та продуктами детонації. Порушення ґрунтового покриву призводить до втрати родючості та активізації ерозійних процесів.

Забруднення поверхневих і підземних вод відбувається через вимивання токсичних сполук, потрапляння залишків вибухових речовин, зміну гідрологічного режиму. Дослідження показують, що порушення природних потоків речовин і енергії суттєво впливає на якість водних ресурсів і функціонування екосистем. Розмінування територій також може призводити до знищення рослинного покриву, порушення середовищ існування, зменшення чисельності видів. Екосистеми після техногенного впливу потребують тривалого відновлення, що підтверджується сучасними екологічними дослідженнями.

Для оцінювання екологічного стану територій після розмінування необхідно застосовувати комплексний підхід, що включає:

- інструментальні методи: відбір проб ґрунтів і води; лабораторний аналіз (рН, важкі метали, органічні сполуки); визначення токсичності;
- геоінформаційні технології (GIS): картографування забруднення; просторовий аналіз змін; моделювання екологічних ризиків;
- дистанційне зондування Землі (ДЗЗ): використання супутникових даних; оцінка змін рослинності; аналіз деградації територій;
- біоіндикація: використання рослин і організмів як індикаторів; оцінка екологічного стану через біологічні показники.

Сучасні підходи до моніторингу базуються на інтеграції різних методів аналізу та використанні цифрових технологій. Інтеграція цифрових технологій дозволяє підвищити точність оцінювання та ефективність управління екологічними процесами.

В умовах післявоєнного відновлення України моніторинг територій після розмінування набуває стратегічного значення (рис. 1).

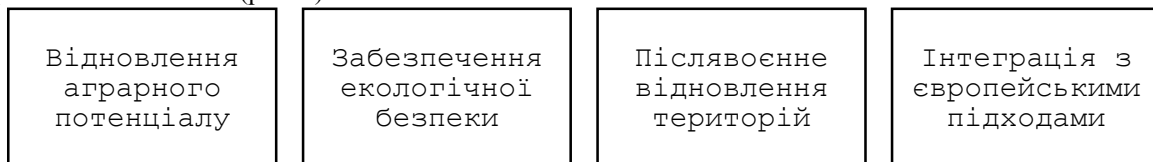


Рис. 1. Стратегічне значення моніторингу територій після розмінування

Відомо, що значна частина замінованих територій є сільськогосподарськими угіддями. Екологічний моніторинг дозволяє відновити аграрний потенціал шляхом:

- визначення придатності земель до використання;
- оцінки рівня забруднення;
- розробки заходів рекультивациі.

Відновлення родючості ґрунтів є ключовою умовою забезпечення продовольчої безпеки країни.

Забезпечення екологічної безпеки є не менш важливою задачею поряд з відновленням аграрного потенціалу. Моніторинг дозволяє:

- виявляти залишкові забруднення;
- запобігати вторинному забрудненню;
- мінімізувати ризики для здоров'я населення.

Варто зазначити, що комплексна оцінка стану довкілля є основою для прийняття управлінських рішень.

Моніторинг зокрема є важливим елементом післявоєнного відновлення територій шляхом:

- планування відбудови;
- просторового розвитку громад;
- управління природними ресурсами.

Він дозволяє інтегрувати екологічні аспекти у стратегії регіонального розвитку.

В сучасних умовах важливим є й інтеграція з європейськими підходами. Україна орієнтується на європейські стандарти:

- екологічний моніторинг;
- оцінка ризиків;
- цифровізація управління довкіллям.

Зазначене створює передумови для інтеграції у ЄС, залучення інвестицій, а також розвитку екологічно орієнтованої економіки.

Серед перспектив розвитку систем моніторингу варто відмітити:

- створення національної системи моніторингу постконфліктних територій;
- використання GIS + AI + Big Data;
- інтеграцію з міжнародними базами даних.

Вище наведене дозволить сформувати сучасну систему управління екологічними ризиками.

Отже, впровадження запропонованої багаторівневої системи моніторингу, яка поєднує інструментальні дослідження, геоінформаційні технології, дистанційне зондування Землі та біоіндикацію, а також включає модулі аналізу і прогнозування екологічних ризиків, дозволяє підвищити точність оцінювання, забезпечити ефективне управління процесами відновлення екосистем і мінімізувати негативні наслідки техногенного впливу. Зазначене є особливо актуальним для України, зокрема у контексті післявоєнного відновлення територій, відновлення аграрного потенціалу та інтеграції сучасних цифрових підходів до екологічного управління.

Список використаних джерел:

1. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г. Інноваційні технології та підходи у гуманітарному розмінванні: аналіз наукових праць і сучасних рішень за допомогою VOSviewer. Scientific aspects of conserving and restoring natural resources under the modern development of society : Scientific monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2024. С.53-76. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-511-2-35>.
2. Герасимчук Л.О. Військові дії як чинник утворення відходів. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 305-312. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.41>.
3. Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Валерко Р.А. Гуманітарне розмінвання України. *Аграрні інновації*. 2024. №24. С. 232-238. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.33>.
4. Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Валерко Р.А. Напрями та тенденції гуманітарного розмінвання як теми бібліометричного аналізу наукометричної бази даних наукових публікацій Web of Science. *Екологічні науки*. 2024. №5(56). С. 93-98. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.13>.
5. Про протимінну діяльність в Україні: Закон України від 06.12.2018 № 2642-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19>.
6. Herasymchuk L., Patseva I., Valerko R., Ustylenko V. Military actions in Ukraine as ecocide and challenge to Formulas of peace. *Present Environment and Sustainable Development*. 2024. Vol. 18, no 2. P. 275-293. DOI: <https://doi.org/10.47743/pesd2024182015>.

Барбат Марія, студентка 3-го курсу
Науковий керівник: Холодова Н.О., викладач-методист
Харківський фаховий коледж технологій та дизайну

ВИРОБИ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ЯК ВИТВОРИ МИСТЕЦТВА

Проблема з рівнем забруднення довкілля вимагає змін у повсякденному мисленні. Переробка вторинної сировини – це можливість впоратися зі зростаючою кількістю відходів, вирішити одну із сучасних екологічних проблем [4].

Вторинна сировина - це речі, які після їх експлуатації можна переробити і використовувати повторно. Вторинна сировина буває: металева, паперова, скляна, пластикова та інші.

Більшістю з них ми користуємося щодня. Часто навіть не підозрюємо, що ці предмети роблять із вторинної сировини. До цієї групи входять:

✓ 95% виробів із металів (алюміній, сталь, чавун, латунь, мідь, бронза, цинк, замок, свинець) – банки, отримані переплавою, металобрухт, дрiт. Ці матеріали можна обробляти практично без обмежень, щоразу отримуючи готовий продукт;

✓ 100% виробів зі скла – як ціла тара, так і склобій – в результаті вторинної переробки перетворюється на новий продукт без втрати своїх первісних властивостей;

✓ макулатура: картон, папір, блокноти, листівки, газети, картонна упаковка, плакати та паперове пакування для сухих продуктів. Переробка тони макулатури дозволяє зберегти 17 дерев, майже 1500 літрів олії та 26 тис. літрів води, значно знизити кількість вихлопних газів та стічних вод;

✓ пластмаси: ПЕТ-пляшки, поліпропіленова та полікарбонатна тара, плівки, одноразові пластикові пакети-мийки, автозапчастини та ін. Щороку кожна людина створює 1,5 мільйона тонн пластикових відходів. Лише дві третини з них переробляються. Решта осідає на звалищах або, що ще гірше, у лісах та водоймах. Це проблема не тільки естетичного характеру, адже при розкладанні пластику виділяються шкідливі для довкілля речовини. Збільшення здачі в переробку частки сміття, такого як ПЕТ-пляшки, упаковка для харчових та косметичних продуктів або одноразовий посуд, не лише зменшить забруднення природи, але й забезпечить сировину для синтетичних тканин або мазуту [4]. Утилізація одягу – важливий захід для поліпшення навколишнього середовища. Старий одяг становить 1/3 текстильних відходів, вся вона може бути перероблена. Деякі тканини переробляються у вторинну сировину. Матеріали високої якості застосовуються для виробництва нової тканини, а низького – використовуються для інших цілей [3]. Більша частина ношеного одягу потрапляє на смітник, і лише 15% переробляється. Люди викидають старий одяг, навіть не знаючи, що його можна переробити, а в'язані речі перев'язати на килими, авоськи, котячі ліжечка тощо [1]. Зараз чимало людей сприймають вторинну сировину як предмет своєї творчості. Із вторинної сировини можна робити картини, вази, кашпо, годинники і навіть статуї. Для багатьох людей виготовлення виробів із вторинної сировини є захопленням, хобі, проявом своїх творчих талантів. Існує цікава техніка амігурумі. Це універсальне ремесло, коли за допомогою гачка утворюють мініатюрні іграшки, охоплюючи широкий спектр персонажів та дизайну – від тварин та істот до вигаданих персонажів та продуктів харчування. В'язати також можна гірлянди, панно, подушки, ковдри тощо. Все залежить від креативності та фантазії. І в будь-якому випадку все це виглядає унікально та ексклюзивно. Майстри часто додають до традиційних візерунків свої особисті варіації та інтерпретації. Останнім часом все частіше використовують нитки вторинного використання зі старих в'язаних речей (старі шарфи, светри, кардигани тощо). Використання вторинної сировини у побуті це не тільки красиво але і актуально. Переробка сировини дає нам можливість не лише зберегти навколишнє середовище від забруднення, а й прикрасити його. Використання вторинної сировини у побуті має переваги: збереження довкілля, економія, креативність та унікальність. Зараз досить популярні виставки та конкурси такого мистецтва, виглядають вони неймовірно. Ключовим моментом в екологічному питанні є вирішення задач, пов'язаних з мінімізацією забруднення навколишнього середовища. Продуктивним способом усунення даної проблеми може бути трансформація вторинної сировини в арт-об'єкти, які з легкістю можна експортувати в маси. Сучасне мистецтво, як соціальне явище, глобально впливає на проблеми, пов'язані з екологією [2].

Список використаних джерел:

1. Оживити власний гардероб: перешивати, а не купувати. URL: <https://rubryka.com/article/household-upcycling/>
2. Стефуришина Ю.Р., Білик А.А. Вторинна сировина та її відображення в творчості сучасних художників і дизайнерів. URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/3135/3104>
3. Утилізація одягу. URL: <https://xn--80ancaco1ch7azg.xn--j1amh/uk/utilizatsiya-othodov/utilizatsiya-odezhdy/>
4. Що таке вторинна сировина? URL: <https://greentalk.com.ua/ua/sho-take-vtorinna-sirovina>

Бахаринський В.Ю.,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Науковий керівник: Валерко Р.А., д.с.-г.н., доц.,
проф. кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»

СУТНІСТЬ ТА ПРИНЦИПИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У БУДІВНИЦТВІ

Сталий розвиток є однією з ключових концепцій сучасної цивілізації, що передбачає гармонійне поєднання економічного зростання, соціального добробуту та екологічної безпеки. Відповідно до підходів Організація Об'єднаних Націй, сталий розвиток визначається як розвиток, що задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для можливостей майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Реалізація цієї концепції відображена у Цілях сталого розвитку (SDGs), серед яких важливе місце займають питання енергоефективності, сталого розвитку міст та боротьби зі зміною клімату [1].

Будівельний сектор відіграє провідну роль у досягненні сталого розвитку, оскільки він є одним із найбільших споживачів енергетичних ресурсів та джерелом значного екологічного навантаження. За даними міжнародних досліджень, будівлі формують значну частку глобального енергоспоживання та викидів парникових газів, що обумовлює необхідність переходу до нових підходів у проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів [2, 3].

У науковій літературі поняття сталого будівництва розглядається як комплексний підхід до створення та експлуатації будівель, що забезпечує ефективне використання ресурсів, мінімізацію негативного впливу на довкілля та створення комфортних умов для життя і діяльності людини [4]. Такий підхід передбачає врахування екологічних, економічних та соціальних аспектів на всіх етапах життєвого циклу будівлі - від проектування до утилізації.

Однією з ключових складових сталого будівництва є енергоефективність, яка визначає рівень раціонального використання енергетичних ресурсів та мінімізацію енергетичних втрат. Впровадження енергоефективних рішень дозволяє не лише зменшити витрати на експлуатацію будівель, але й суттєво скоротити обсяги викидів парникових газів, що є важливим у контексті глобальних кліматичних змін [5, 6].

Важливим напрямом розвитку сталого будівництва є також використання інноваційних технологій та матеріалів, що забезпечують підвищення енергоефективності та екологічності будівель. До таких технологій належать системи теплоізоляції, енергоефективні інженерні системи, використання відновлюваних джерел енергії, а також впровадження smart-технологій управління будівлями [7, 8]. Значну роль відіграють і природоорієнтовані рішення, зокрема зелені дахи, які сприяють зменшенню теплового навантаження, покращенню мікроклімату та зниженню енергоспоживання будівель [9, 10].

Принципи сталого розвитку у будівництві формуються на основі комплексного підходу та включають принцип енергоефективності, ресурсоефективності, екологічної безпеки, економічної доцільності, соціальної орієнтованості та принцип інноваційності (рис. 1).

У сучасних умовах особливого значення набуває концепція будівель із майже нульовим енергоспоживанням (NZEB), яка передбачає максимальне скорочення споживання енергії та використання відновлюваних джерел енергії [11]. Впровадження таких підходів є важливим елементом європейської політики у сфері енергоефективності та сталого розвитку будівель.

Крім того, розвиток сталого будівництва тісно пов'язаний із процесами цифровізації та впровадження концепцій «розумних міст» (smart cities), що передбачають інтеграцію інформаційних технологій у управління енергетичними системами та інфраструктурою [7]. Це дозволяє оптимізувати енергоспоживання, підвищити ефективність управління ресурсами та зменшити екологічне навантаження.

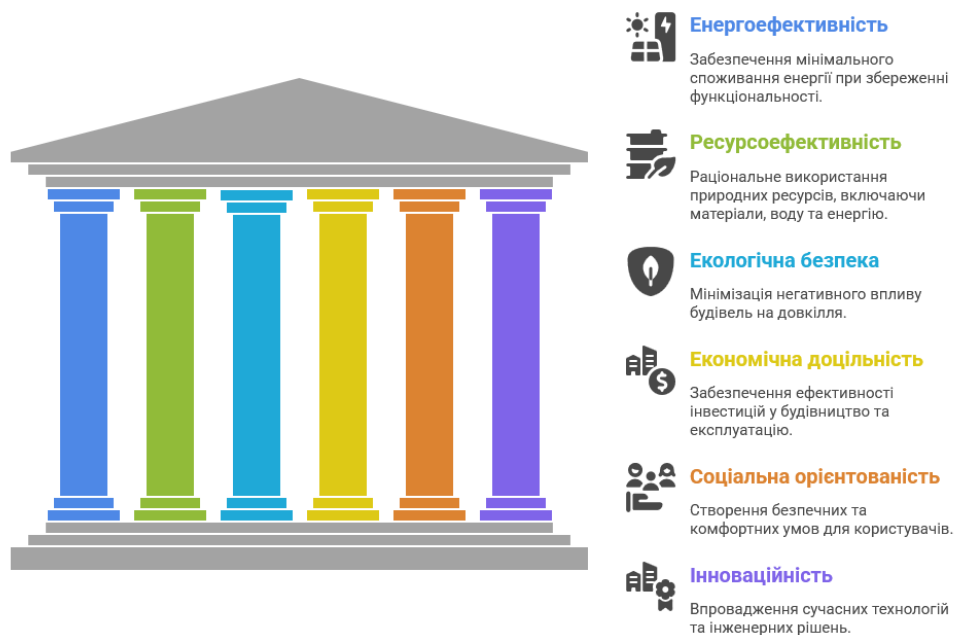


Рис. 1. Основи сталого будівництва

Таким чином, сталий розвиток у будівництві є комплексною концепцією, що поєднує екологічні, економічні та соціальні аспекти та спрямована на забезпечення ефективного використання ресурсів, зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення якості життя населення. Впровадження принципів сталого будівництва є необхідною умовою переходу до енергоефективної та екологічно безпечної моделі розвитку, що має особливе значення для України в умовах сучасних викликів та післявоєнного відновлення.

Список використаних джерел:

1. Програма розвитку ООН в Україні. Цілі сталого розвитку. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku>.
2. Giacomo Di Foggia. Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goals. *Heliyon*. 2018 4. doi: 10.1016/j.heliyon.2018.e00953.
3. Hafez F. S., Bahaaeddin Sa'di, M. Safa-Gamal, Y.H. Taufiq-Yap, Alrifay M., Seyedmahmoudian M., Stojcevski A., Horan B., Mekhilef S. Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 45. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013>.
4. Berardi U. Clarifying the New Interpretations of the Concept of Sustainable Building. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2013.01.008>.
5. Dhanasingh S. V., Parthiban D., Vinayagam M., Naveen S., Sathish K., Md. Shamim A. A Review of Sustainable Implications of Energy-Efficient Buildings in the Environment. *Advances in Civil Engineering*. 2025. 9584777, 18 pages, 2025. <https://doi.org/10.1155/adce/9584777>.
6. Lewandowski, K. Modern Energy Sources for Sustainable Buildings: Innovations and Energy Efficiency in Green Construction. *Energies*. 2025, 18, 1121. <https://doi.org/10.3390/en18051121>.
7. Gracias J. S., Parnell G. S., Specking E., Pohl E. A., Buchanan R. Smart Cities - A Structured Literature Review. *Smart Cities*. 2023. Vol. 6, No. 4. P. 1719-1743. DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities6040080>.
8. Mondejar M. E., Avtar R., Diaz H. L. B., Dubey R. K., Esteban J., Gómez-Morales A., Hallam B., Mbungu N. T., Okolo C. C., Prasad K. A., She Q., Garcia-Segura S. Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 794. P. 148539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>.
9. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Бельмега І. В., Шаццо С. Г. Зелені дахи як напрям наукових досліджень. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агронія і біологія»*. 2024. № 1(55). С. 35-43. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.5>.
10. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Весельський О. О. Переваги зелених дахів та їх розрахунок. *Аграрні інновації*. 2024. № 23 (2024). С. 48-57. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7>.
11. Jaysawal, R.K.; Chakraborty, S.; Elangovan, D.; Padmanaban, S. Concept of Net Zero Energy Buildings (NZEB) - A Literature Review. *Clean. Eng. Technol.* 2022, 11, 100582.

Березенська С.В.,
здобувач вищої освіти за освітнім ступенем «бакалавр»,
спеціальність 101 «Екологія»
Мельник-Шамрай В.В., к.с.-г.н., доц.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АВТОЗАПРАВНИХ КОМПЛЕКСІВ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

В умовах інтенсифікації транспортних процесів та урбанізації автозаправні комплекси (АЗК) виступають невід'ємним елементом інфраструктури, водночас залишаючись джерелами значного техногенного навантаження на довкілля. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю поєднання комплексної екологічної оцінки таких об'єктів із впровадженням принципів сталого розвитку, що передбачає мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Комплексна оцінка впливу АЗК передбачає аналіз їх впливу на основні компоненти довкілля - атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунтове середовище, біологічне різноманіття та утворення відходів (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика впливу автозаправного комплексу на компоненти довкілля
та можливі екологічні наслідки

Компонент довкілля	Джерела впливу	Основні забруднювачі	Наслідки
Атмосферне повітря	Резервуари, колонки, транспорт	ЛОС, бензол, NO ₂ , CO, CO ₂ , пил	Погіршення якості повітря, шкода здоров'ю
Водні ресурси	Стік, витоки пального	Нафтопродукти, ПАР	Забруднення вод, шкода екосистемам
Ґрунти	Витоки, розливи	Вуглеводні, нафтошлам	Деградація ґрунтів
Біота	Комплексний вплив	Токсичні сполуки	Зниження біорізноманіття
Ландшафт	Будівництво АЗК	Порушення покриву	Зміна ландшафту
Відходи	Обслуговування	Нафтошлам, фільтри	Вторинне забруднення

Встановлено, що домінуючим напрямом впливу є забруднення атмосферного повітря, на яке припадає основна частка викидів. Основними джерелами є резервуарний парк та паливороздавальні колонки, що спричиняють емісію летких органічних сполук, бензолу, оксидів нітрогену та інших поллютантів у процесах зберігання і відпуску пального. Вплив на водні ресурси пов'язаний із формуванням поверхневого стоку, який містить залишки нафтопродуктів і завислі речовини. За відсутності ефективних систем очищення це може призводити до забруднення ґрунтових і поверхневих вод. Водночас ризики для ґрунтів виникають унаслідок аварійних розливів або витоків пального, що спричиняє накопичення вуглеводнів і деградацію ґрунтового покриву.

У контексті сталого розвитку особливого значення набуває екологізація автозаправних комплексів як системний підхід до зменшення їх негативного впливу. Екологізація передбачає впровадження інноваційних технологічних та управлінських рішень, спрямованих на підвищення екологічної безпеки об'єктів. До ключових напрямів екологізації АЗК належать:

- застосування систем рекуперації парів палива, що дозволяють суттєво зменшити викиди летких органічних сполук;
- використання двостінних резервуарів із системами контролю герметичності;
- впровадження локальних очисних споруд для очищення поверхневих стічних вод;
- удосконалення систем поводження з небезпечними відходами;
- використання енергоефективного обладнання та альтернативних джерел енергії;
- запровадження систем екологічного моніторингу та цифрових технологій контролю.

У сучасних умовах глобальних екологічних викликів концепція сталого розвитку набуває особливого значення, передбачаючи збалансування економічних, екологічних та соціальних аспектів діяльності. Таким чином, поєднання комплексної оцінки впливу АЗК із впровадженням принципів екологізації забезпечує зниження техногенного навантаження та сприяє переходу до сталого розвитку. Реалізація зазначених заходів дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки, зменшити ризики для довкілля та забезпечити гармонійне функціонування об'єктів дорожнього сервісу.

УДК 504.06:631.362:664.72 (477.42)

Блищик А.Ю., здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища», Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц. кафедри екології та природоохоронних технологій Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕННЯ ЛІНІЇ З ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ (НА ПРИКЛАДІ ТОВ «СІГНЕТ-ЦЕНТР» ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю пошуку балансу між економічною вигодою та екологічною безпекою. Впровадження інноваційних систем аспірації та енергоефективних сушарок дозволяє знизити викиди твердих часток (пилу) та парникових газів. Сучасний стан агропромислового комплексу України вимагає переходу до сталого розвитку, де інтенсифікація виробництва зерна обов'язково супроводжується мінімізацією антропогенного тиску на довкілля. Для Житомирської області, де функціонують потужні елеваторні комплекси на кшталт ТОВ «Сігнет-Центр», проблема запиленості повітря та шумового навантаження залишається гострою. Удосконалення ліній первинної обробки зерна є ключовим етапом, що дозволяє не лише покращити якість продукції, а й суттєво зменшити екологічні ризики в зоні впливу підприємства.

Обґрунтування важливості екологізації процесів первинної обробки зерна в контексті сталого розвитку, вимог законодавства та зниження негативного впливу на довкілля.

Зернова галузь України є стратегічно важливою складовою економіки та ключовим фактором продовольчої безпеки як країни, так і світу. Вона охоплює вирощування, переробку, зберігання та експорт зернових, зернобобових та олійних культур, серед яких основною культурою традиційно вважається пшениця, хоча кукурудза також займає значні позиції. Попри виклики, пов'язані з повномасштабним вторгненням росії, Україна продовжує збирати значні врожаї. Прогнози на 2026 рік очікують виробництво близько 56 млн тонн зернових та 21 млн тонн олійних культур.

Питання екологічної безпеки зернопереробних підприємств досліджувалися багатьма вченими. Так, В. Г. Цюпа та О. С. Волошин у своїх працях наголошують на важливості модернізації аспіраційних мереж як головного чинника зниження викидів пилу. Технічні аспекти функціонування зерносушарок та їхнього енергоспоживання детально описані в роботах М.С. Пашенка, який зазначає, що заміна паливних пальників може знизити викиди NO₂ на 15-20%. Водночас, згідно з даними О.М. Адаменка, екологічний моніторинг агропромислових зон вимагає комплексного підходу, що включає оцінку не лише повітря, а й накопичення органічних відходів очищення. Дослідження зарубіжних авторів (наприклад, J. Smith et al.) вказують на високу ефективність циклонних сепараторів нового покоління у порівнянні зі старими моделями БЦШ.

ТОВ «Сігнет-Центр» є сучасним елеваторним комплексом, проте постійне збільшення обсягів приймання кукурудзи та сої вимагає модернізації лінії первинної обробки. Головним джерелом забруднення є етапи сепарування та сушіння, де утворюється зерновий пил органічного походження. Проведена інвентаризація викидів показала, що основна частка забруднюючих речовин припадає на недиференційований за складом пил. При існуючій системі очистки (циклони серії ЦЗ) ефективність становить не більше 85%, що в періоди пікового навантаження призводить до наближення концентрацій ГДК на межі санітарно-захисної зони. Пропонується удосконалення лінії шляхом встановлення високоефективних рукавних фільтрів на точках пересипання та заміни сепараторів на закриті моделі з внутрішньою циркуляцією повітря. Це дозволить локалізувати джерела пилоутворення безпосередньо в обладнанні. Порівняльна характеристика викидів до та після вдосконалення представлена в табл 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика викидів до та після вдосконалення

Речовина	До модернізації (т/рік)	Після модернізації (т/рік)	Ефект (%)
Зерновий пил	12.4	1.8	-85.5%
Оксиди азоту (від сушарок)	3.5	2.9	-17.1%
Оксид вуглецю	1.2	0.9	-25.0%

Важливим аспектом є модернізація системи сушіння. Використання пальників з низьким рівнем викидів NO_x та автоматизація процесу подачі палива дозволяє оптимізувати витрати газу. Це безпосередньо впливає на зниження вуглецевого сліду продукції підприємства.

Питання шумового забруднення вирішується шляхом встановлення акустичних екранів навколо потужних вентиляторів. Аналіз показує, що рівень шуму після модернізації знижується з 85 дБА до 60 дБА, що відповідає санітарним нормам для прилеглих територій. Удосконалення лінії також включає систему збору та пресування відходів очищення (лушпиння, бите зерно). Замість накопичення просто неба, ці відходи пропонуються використовувати як біопаливо для котельні підприємства. Екологічна ефективність запропонованих заходів відображена у зменшенні екологічних платежів (табл. 2). Крім прямої економічної вигоди, ТОВ «Сігнет-Центр»

отримує соціальний ефект - покращення умов праці для персоналу та відсутність скарг від мешканців навколишніх сіл (зокрема с. Андрушки).

Таблиця 2

Екологічна ефективність запропонованих заходів

Показник	Базовий стан (грн/рік)	Проектний стан (грн/рік)	Різниця (економія)
Податок за викиди пилу	15400	2250	13150
Податок за CO ₂	98000	82500	15500
Разом	113400	84750	28650

Забруднення зернових культур - це критичний фактор, який впливає на безпеку харчових продуктів та економічну ефективність таких підприємств, як «Сігнет-Центр». Для агрохолдингів контроль чистоти зерна починається ще в полі й завершується на елеваторі.

Українське зерно проходить суворий контроль на кордоні. Наявність карантинних бур'янів (наприклад, амброзії) або перевищення норми мікотоксинів може призвести до повернення всієї партії та величезних штрафів. Зерно на елеваторах ТОВ «Сігнет-Центр» оцінюють згідно з державними стандартами (ДСТУ). Для кожної культури існують свої критерії, але загальний підхід базується на розділенні показників на органолептичні (має бути характерним для даної культури, потемніння або знебарвлення свідчить про самозігрівання або ураження грибок також не допускається запах плісняви, солоду (ознака проростання), затхлості або сторонніх речовин (гас, хімікати), зерно має бути здоровим, не грітися (температура перевіряється термоштангою) та фізико-хімічні.

Тяжкі метали охоплюють низку різних елементів (таких як кадмій, цинк, мідь, ртуть, миш'як, свинець) (рис.1.), частина з яких здатна впливати на метаболічні процеси, а також на організм у цілому. Варто зазначити, що до категорії важких металів потрапляють також цинк та мідь, які, будучи мікроелементами, необхідними для обміну речовин, проте стають надзвичайно отруйними при надмірному надходженні.

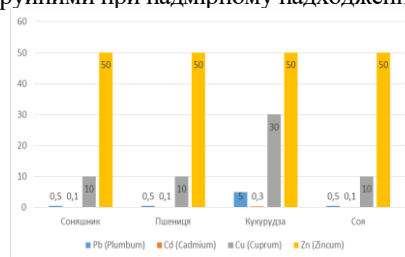


Рис. 1. Гранично допустима концентрація вмісту важких металів та мікроелементів у зерні сільськогосподарських культур (мг/кг)

Висновок. Проведена екологічна оцінка удосконалення лінії первинної обробки зернових на ТОВ «Сігнет-Центр» підтверджує доцільність впровадження запропонованих технічних рішень. Заміна застарілих циклонів на рукавні фільтри та модернізація пальників сушильних агрегатів дозволяють знизити викиди пилу на 85%, а оксидів азоту - на 17%. Це не лише покращує стан атмосферного повітря в Житомирській області, а й приводить діяльність підприємства у повну відповідність до жорстких екологічних вимог законодавства.

Встановлено, що інтеграція системи утилізації відходів очищення у власну енергосистему підприємства створює замкнений цикл виробництва, що є прикладом реалізації принципів циркулярної економіки. Таким чином, модернізація є економічно виправданою та екологічно безпечною, забезпечуючи сталий розвиток агропідприємства в довгостроковій перспективі.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування.
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (із змінами та доповненнями).
3. Волошин О. С. Модернізація аспіраційного обладнання на зерносховищах. Наукові праці ОНАХТ. 2021. Вип. 85. С. 44-50.
4. Пашенко М. С. Енергоефективні технології сушіння зерна та їх вплив на довкілля. Агроінженерія та екологія. 2022. № 3. С. 112-118.
5. Цюпа В. Г., Рибак О. В. Екологічна безпека агропромислових об'єктів Житомирщини. Вісник ЖНАЕУ. 2020. № 2. С. 201-210.
6. Пацева І.Г., Демчук Л.І., Давидова І.В., Устименко В.І., Кириленко Н.П. Український шлях до Acquis ЄС від формальності до сталого розвитку. Наукові інновації та передові технології. 2025. Вип. № 12(52). С 2846-2857. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-12\(52\)-2846-2856](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-12(52)-2846-2856).
7. Patseva I., Demchuk L., Davydova I., Ustymenko V., Kyrylenko N. Governance and control mechanisms in EU environmental and mining law: lessons for the resource sector of Ukraine. Science and Technology Today. 2025. Issue 11(552). P.59-73. DOI:10.52058/2786-6025-2025-11(52)-59-72
8. Пацева І.Г., Герасимчук Л.О., Мажарівська І.А. Вміст важких металів у зерні кукурудзи при умові вирощування на Поліссі України. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 136. С. 316-321. URL: http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/136_2024/part_2/42.pdf

Бондарчук Ю.В.,
здобувач вищої освіти за освітньо-науковим ступенем
«доктор філософії» спеціальність Е2 «Екологія»
Мельник-Шамрай В.В., к.с.-г.н., доц.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОСИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЯК ОСНОВА ЕКОЛОГІЧНО ЗБАЛАНСОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЛІСОВИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ

В умовах глобальних кліматичних змін, виснаження природних ресурсів та стрімкого розвитку цифрових технологій відбувається трансформація підходів до природокористування, що зумовлює переосмислення традиційних моделей господарювання. Зростання антропогенного навантаження на довкілля, погіршення стану екосистем і посилення екологічних ризиків актуалізують необхідність переходу до принципів сталого розвитку. У зв'язку з цим концепція сталого розвитку поступово утверджується як методологічна основа функціонування різних сфер людської діяльності, зокрема екологічної, як на глобальному рівні, так і в межах Європейського Союзу, де вона закріплена у стратегічних документах та політиках.

З огляду на зазначене, а також у контексті євроінтеграційного курсу України, імплементація принципів сталого розвитку набуває особливої актуальності для національного господарства. Це стосується передусім лісової галузі, яка відіграє важливу роль у забезпеченні екологічної рівноваги, збереженні біорізноманіття та формуванні ресурсного потенціалу держави, що зумовлює необхідність її трансформації відповідно до сучасних екологічних викликів та європейських стандартів управління. Попри невеликий відсоток лісистості - всього 15,9 відсотка території [1] - лісове господарство в Україні є однією з провідних галузей в державі як з точки зору екології та впливу на суспільство, так і в економічному розумінні. Лісові екосистеми функціонують під впливом комплексу природних і антропогенних чинників, що визначають їхній стан, стійкість та здатність до відновлення (табл. 1).

Таблиця 1

Основні фактори впливу на лісові екосистеми

Група факторів	Приклади впливу	Наслідки
Кліматичні	Підвищення температури, посухи, зміна режиму опадів	Ослаблення деревостанів, зниження продуктивності
Біотичні	Шкідники, хвороби, інвазійні види	Порушення біорізноманіття
Антропогенні	Вирубки, урбанізація, забруднення	Деградація екосистем
Військові	Пожежі, вибухи, пересування техніки	Руйнування ґрунтового покриву, фрагментація лісів

Унаслідок цього ліси нашої держави стали більш вразливими та потребують посиленого догляду. Системний характер впливу різних груп факторів зумовлює необхідність застосування інтегрованих підходів до управління лісами, які враховують як природні процеси, так і зростаючий антропогенний, зокрема військовий, тиск. Саме тому впровадження та підтримка сталого ведення лісового господарства є надзвичайно важливим кроком на шляху до збереження лісів країни.

Важливою частиною інтеграції концепції сталого розвитку в лісове господарство України є впровадження відповідних методик, однією з яких є екосистемний підхід. Так, на 7-ій Конференції сторін Конвенції з біологічного різноманіття (COP-7) у 2004 році було зазначено, що стале управління лісами є прикладом застосування даного підходу, а інструменти, розроблені для цього, можуть бути використані для його запровадження [2, 3]. В літературі не існує єдиного розуміння визначення терміну [4]. Згідно з офіційним тлумаченням, прийнятим на 5-й Конференції Сторін Конвенція про біологічне різноманіття (COP-5) у 2000 році, екосистемний підхід - це стратегія комплексного управління земельними, водними та живими ресурсами, що сприяє їх збереженню та сталому використанню на засадах справедливості [5]; в той же час в ширшому розумінні це міждисциплінарний методологічний підхід до теоретичної та практичної діяльності, що заснований на теорії систем [7]. В основі екосистемного підходу лежить уявлення про взаємопов'язаність компонентів екосистем, навколишнього середовища та людської діяльності. Його методологічну основу становлять узагальнені принципи, сформовані на основі сучасних наукових підходів (табл. 2) [6].

Таблиця 2

Принципи екосистемного підходу	
Принцип	Сутність
Цілісність	Розгляд екосистеми як єдиного функціонального комплексу
Відкритість	Взаємодія з навколишнім середовищем
Нелінійність	Непередбачуваність та складність динаміки змін
Адаптивність	Здатність системи реагувати на зміни
Коеволюційність	Взаємозалежний розвиток природних і соціальних систем
Темпоральність	Урахування часових аспектів розвитку екосистем

Реалізація зазначених принципів забезпечує перехід до екологічно збалансованого управління, орієнтованого на збереження функціональності екосистем і їхніх послуг у довгостроковій перспективі. З огляду на значення лісового господарства для економіки України, доцільно розглядати екосистемний підхід також крізь призму економічної ефективності. З метою обґрунтування доцільності його впровадження доцільно порівняти його з традиційною моделлю управління лісовими ресурсами з урахуванням міжнародного досвіду (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння підходів до управління лісовими екосистемами з урахуванням міжнародного досвіду			
Критерій	Традиційний підхід	Екосистемний підхід	Міжнародний досвід
Об'єкт управління	Окремі ресурси (деревина)	Екосистема в цілому	Країни ЄС застосовують інтегроване управління ландшафтами
Основна мета	Економічна вигода	Баланс екологічних, економічних і соціальних інтересів	Орієнтація на сталий розвиток (стратегії ЄС)
Часовий горизонт	Коротко- та середньостроковий	Довгостроковий	Довгострокові програми (до 2030-2050 рр.)
Врачування факторів	Обмежене	Комплексне	Включення кліматичної політики та біорізноманіття
Реакція на зміни	Реактивна	Адаптивна	Адаптивне управління (adaptive management)
Роль людини	Користувач ресурсів	Частина екосистеми	Підхід «nature-based solutions»

У роботі узагальнено основні групи факторів впливу на лісові екосистеми України в умовах зростаючого антропогенного та військового навантаження, зокрема кліматичні, біотичні, господарські та воєнні чинники, що комплексно визначають їхній сучасний стан, стійкість і здатність до відновлення. На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність застосування екосистемного підходу як інтегрованого інструменту управління, що передбачає врахування взаємозв'язків між природними компонентами та людською діяльністю.

Таким чином, екосистемний підхід розглядається як ефективна методологічна основа формування екологічно збалансованої моделі управління лісами, орієнтованої на довгострокове збереження біорізноманіття, підтримання екосистемних послуг і забезпечення раціонального використання ресурсів. Його впровадження сприяє гармонізації екологічних, економічних і соціальних інтересів, підвищенню стійкості лісових екосистем до сучасних викликів, а також узгодженню національної лісової політики з європейськими принципами сталого розвитку.

Список використаних джерел:

1. Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія, План від 29.12.2021 № 1777-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 01.03.2026).

2. Мішенін Є.В., Ярова І.Є., Мішеніна Г.А., Дутченко О.М. Глобальне лісове господарство: міжнародні та національні стратегічні орієнтири сталого просторового розвитку. Збалансоване природокористування. С. 42-51. № 1. 2021.

3. COP Decisions - Convention on Biological Diversity. URL: <https://www.cbd.int/decision/cop/default.shtml?id=7748> (дата звернення 01.03.2026).

4. Поплавська О. Екосистемний підхід в дослідженні соціально-економічних систем. Сталий розвиток економіки. С. 135-140. № 2(49). 2024.

5. Ecosystem Approach - Convention on Biological Diversity. URL: <https://www.cbd.int/ecosystem> (дата звернення 01.03.2026).

6. Леонтьєва І. Екосистемний підхід як методологічний орієнтир інноваційного розвитку вищої педагогічної освіти. Педагогічна освіта: теорія і практика. Психологія. Педагогіка. С. 21-26. № 41. 2024.

Будовський К.О., студент, 2 курс, АЛ-42, НН ІАТ
Науковий керівник: Гребенюк Т.В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ РАКЕТНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ НДМГ ТА АТ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Розвиток ракетної техніки постійно вимагав пошуку більш досконалих палив (пари паливо + окисник) з якомога вищим питомим імпульсом. Водночас до палива висувались і інші вимоги, серед яких висока енергетична щільність та можливість тривалого зберігання в баках. Ці вимоги зумовили широке використання, особливо у радянському союзі, систем на основі несиметричного диметилгідразину (НДМГ, гептил) у якості палива та азотного тетраоксиду (АТ, аміт) у якості окисника. Така пара забезпечувала вищий питомий імпульс ніж пара високоочищений керсон + LOX, плюс такі системи не потребували криогенних температур, як пара LOH + LOX, і могли тривалий час зберігатись всередині паливних баків. Головним недоліком даної комбінації була її токсичність.

НДМГ - це безколірна прозора рідина з різким неприємним запахом, характерним для аміонів. Дана сполука має хімічну формулу $(\text{CH}_3)_2\text{NNH}_2$. Температура кипіння НДМГ становить $+63,1\text{ }^\circ\text{C}$, а температура кристалізації $-57,78\text{ }^\circ\text{C}$, що дозволяє зберігати його в рідкому стані за кімнатних температур.

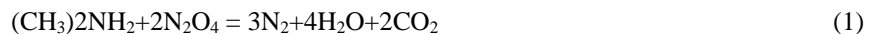
НДМГ відноситься до I класу небезпеки, він характеризується вираженою канцерогенною та мутаційною дією. У людини він може викликати подразнення слизистих оболонок очей, дихальних шляхів та легень, збудження центральної нервової системи та розлади кишківника. Як гепатотоксична отрута, він спричиняє дистрофічні зміни паренхіми печінки та порушення її бар'єрної функції.

За кодифікацією NFPA 704 гептил має найвищий рівень небезпеки для здоров'я людини - 4, що говорить про те, що навіть дуже короткочасна взаємодія з ним може викликати смерть або значні залишкові пошкодження організму.

Не менш небезпечним в цій парі є окисник, представлений азотним тетраоксидом. Дана сполука має формулу N_2O_4 . Температура кипіння АТ становить $+21,15\text{ }^\circ\text{C}$, а кристалізації $-11\text{ }^\circ\text{C}$.

Азотний тетраоксид теж відноситься до I класу небезпеки та характеризується як надзвичайно токсичний агресивний окисник. В невеликих концентраціях може викликати подразнення легень, при великих дозуваннях - набряк. За кодифікацією NFPA 704 АТ має рівень небезпеки для здоров'я 3.

При поєднанні палива та окисника в камері згорання суміш запалюється самочинно, що є щеодною перевагою даної пари. В камері згорання відбувається реакція (1)



Результатом реакції є природні для атмосфери азот, вода та вуглекислий газ. Однак паливо, особливо на початковому етапі польоту, згорає не повністю, що призводить до викиду в навколишнє середовище як палива, так і окисника. Про це сигналізує буро-помаранчевий відтінок відпрацьованих газів (рис. 1).



Рис. 1

Коли несиметричний диметилгідразин (НДМГ) потрапляє у ґрунтове середовище, він частково адсорбується органічною речовиною ґрунту, тоді як решта з часом зазнає деградації, окислення, розкладу та інших процесів різними шляхами. Хоча концентрація самого НДМГ суттєво знижується вже протягом перших трьох років, процес супроводжується накопиченням токсичних продуктів трансформації, зокрема диметилгідразону формальдегіду (FDMH) та тетраметилтетразену (ТМТ), які становлять основну частку похідних сполук.

НДМГ надзвичайно небезпечний для ґрунтових вод через свою необмежену розчинність у воді та високу міграційну здатність. Потрапляючи у водоносні горизонти, він швидко поширюється на значні відстані від джерела забруднення, практично не затримуючись механічними фільтрами ґрунту. У водному

середовищі сполука демонструє високу стабільність і може зберігатися роками, особливо за низьких температур і обмеженого доступу кисню. Процеси його самоочищення у воді відбуваються вкрай повільно, а при окисленні утворюються ще більш стійкі та небезпечні канцерогени, такі як НДМА (нітрозодиметиламін), що робить воду непридатною для споживання навіть при мізерних концентраціях.

Дослідження екологічного стану територій, прилеглих до космодрому «Байконур» та районів падіння відпрацьованих ступенів ракет-носіїв, вказують на формування стійких осередків техногенного забруднення несиметричним диметилгідразином (НДМГ) та продуктами його трансформації. Попри високу леткість та реакційну здатність вихідної сполуки, її деградація в аридних умовах степової зони не призводить до повної детоксикації середовища, а спричиняє накопичення значно стійкіших і небезпечніших метаболітів. Зокрема, встановлено, що навіть через 15-20 років після припинення активного впливу в ґрунтових горизонтах зберігаються специфічні маркери забруднення, такі як метил, тріазол, піразини та високотоксичний нітрозодиметиламін (НДМА), концентрації яких у «гарячих точках» розливів можуть суттєво перевищувати фонові показники.

Екологічний вплив азотного тетраоксиду (АТ) на ґрунтові екосистеми в районах експлуатації ракетно-космічної техніки визначається насамперед процесами інтенсивного закислення та трансформації сполуки у мінеральні форми азоту. При контакт з ґрунтовою вологою АТ деградує з утворенням азотної та азотистої кислот, що спричиняє деструкцію мінеральної матриці та пригнічення біологічної активності субстрату. Наступна нітрифікація продуктів розпаду призводить до аномального накопичення нітратів і нітритів, які через високу міграційну здатність становлять пряму загрозу забруднення підземних вод. Особливу небезпеку становить синергетичний ефект спільної присутності залишків окислювача (АТ) та палива (НДМГ), що каталізує синтез нітрозодиметиламіну, підвищуючи сумарну токсичність та канцерогенний ризик для уражених територій на тривалий період.

Окрім впливу на підземні води та мінеральний склад ґрунту, значна частина несиметричного диметилгідразину (НДМГ) та азотного тетраоксиду (АТ) під час штатного падіння відпрацьованих ступенів або аварій потрапляє в атмосферу. Викиди АТ практично миттєво переходять у газоподібний діоксид азоту, утворюючи високотоксичні «бурі хмари». Під дією вітру вони здатні переміщуватися на значні відстані від епіцентру, спричиняючи випадання локальних кислотних опадів, гострі хімічні опіки (некрози) надземних частин рослин та токсичне ураження дихальної системи у представників місцевої фауни. В свою чергу, пари та дрібнодисперсні аерозолі НДМГ осідають на рослинність і проникають у тканини через продиhi, значно розширюючи ареал хімічного стресу.

На приклад, аварія ракети-носія «Протон-М» у 2013 році призвела до тяжких екологічних наслідків, спричинивши механічне руйнування ґрунтового та рослинного покриву, виникнення пожеж і масштабне хімічне забруднення екосистеми. Безпосередньо у місці падіння фрагментів спостерігалось критичне накопичення гептилу (НДМГ), концентрація якого перевищувала гранично допустимі норми від 1,4 до 5200 разів на площі 3600 м², тоді як продукти розпаду окислювача (АТ) охопили територію у 8314 м².

Особливу небезпека інциденту полягала в подальшій трансформації НДМГ у ще більш токсичну та канцерогенну сполуку - N-нітрозодиметиламін (НДМА), яка виявлялася в ґрунтах навіть після проведення чотирьох етапів детоксикації перманганатом калію.

Висновок: використання паливної пари несиметричного диметилгідразину та азотного тетраоксиду, попри її високу енергетичну ефективність та технологічну зручність для ракетно-космічної галузі, зумовлює виникнення довготривалих та багатовекторних екологічних ризиків. Дослідження підтверджують, що швидка первинна деградація НДМГ у ґрунті не означає детоксикацію, а супроводжується накопиченням стабільних метаболітів і канцерогенного нітрозодиметиламіну, який через необмежену розчинність та низьку сорбцію здатний вільно мігрувати у глибокі водоносні горизонти. Цей процес посилюється агресивним впливом азотного тетраоксиду, що викликає стійке закислення середовища, деструкцію мінеральної матриці ґрунту та мобілізацію токсичних важких металів у біодоступні форми. Синергетична взаємодія залишків палива та окислювача в аридних умовах степової зони призводить до формування стійких осередків техногенного забруднення та «прихованих» хімічних аномалій, що пригнічують локальні біоценози протягом десятиліть і потребують впровадження комплексних стратегій екологічного моніторингу та рекультивациі територій.

Список використаних джерел:

1. The Effect of an Accidental Carrier Rocket Crash on Soil and Vegetation Cover / B. S. Maikanov, L. T. Auteleyeva, Z. K. Zhubatov et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 176-184.
2. Bari S. Baikonur and Kazakhstan's Sovereignty Dilemma: Security, Environment, and International Law : [course paper] / The George Washington University; IAFF 3186: Central Asia Security; prof. Sakhi. Washington, D.C.
3. Unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) and its transformation products in soils: a review of the sources, detection, behavior, toxicity, and remediation of polluted territories / T. V. Koroleva, I. N. Semenov, S. A. Lednev, O. S. Soldatova. *Eurasian Soil Science*. 2023. Vol. 56, No. 2. P. 210-225.

Валерко І.С.,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Науковий керівник: Герасимчук Л.О.,
к.с.-г.н., доц., доц. кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ ТА МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Лісові екосистеми та біорізноманіття відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної рівноваги, збереженні кліматичної стабільності та підтриманні природних ресурсів. Водночас сучасні виклики, зокрема незаконна вирубка лісів, зміна клімату, поширення шкідників і хвороб, а також зниження біорізноманіття, потребують впровадження новітніх технологій для ефективного моніторингу та управління [1, 2].

Традиційні методи моніторингу лісових ресурсів, що базуються на польових дослідженнях та статистичних оцінках, мають обмеження, пов'язані з високою трудомісткістю, обмеженим просторовим охопленням і низькою оперативністю. У зв'язку з цим значного поширення набуває використання технологій штучного інтелекту, які дозволяють автоматизувати процеси аналізу та підвищити ефективність управління лісовими екосистемами [1].

Одним із ключових напрямів застосування штучного інтелекту (ШІ) є моніторинг стану лісів. Алгоритми машинного навчання та комп'ютерного зору використовуються для аналізу супутникових знімків і даних дистанційного зондування Землі з метою оцінки площ лісів, виявлення змін у рослинному покриві та визначення ступеня деградації екосистем, що дозволяє своєчасно виявляти незаконні вирубки, пошкодження лісів та інші негативні процеси [1].

Важливим напрямом є також виявлення та прогнозування лісових пожеж. Моделі штучного інтелекту аналізують метеорологічні дані, стан рослинності та інші фактори ризику для прогнозування ймовірності виникнення пожеж, що дає змогу забезпечити раннє попередження та зменшити негативні наслідки таких подій [1] (табл. 1).

Таблиця 1

Застосування технологій штучного інтелекту у лісовому господарстві та моніторингу біорізноманіття

Напрямок застосування ШІ	Використані методи	Джерела даних	Основні результати
Моніторинг стану лісів	Машинне навчання, комп'ютерний зір	Супутникові знімки, ДЗЗ	Виявлення змін лісового покриву
Виявлення незаконних вирубок	Класифікація, аналіз зображень	Супутники, дрони	Контроль антропогенного впливу
Прогнозування лісових пожеж	Прогностичні моделі	Метеодані, стан рослинності	Раннє попередження пожеж
Моніторинг біорізноманіття	Глибоке навчання	Фотопапки, відео	Ідентифікація видів тварин
Аналіз екосистем	AI + ГІС	Просторові екологічні дані	Оцінка стану екосистем
Управління лісовими ресурсами	Інтелектуальні системи	Комплексні дані	Оптимізація природокористування

Застосування ШІ є ефективним інструментом у сфері моніторингу біорізноманіття. Зокрема, алгоритми глибокого навчання використовуються для аналізу зображень із фотопасток і відеоспостереження, що дозволяє автоматично ідентифікувати види тварин, оцінювати їх чисельність і відстежувати зміни у популяціях [3]. Зазначене значно спрощує процес збору даних і підвищує точність оцінювання стану біорізноманіття.

Крім того, технології штучного інтелекту застосовуються для класифікації та аналізу екосистем, що дозволяє оцінювати їх стан і визначати рівень антропогенного впливу. Інтеграція ШІ з геоінформаційними системами забезпечує можливість просторового аналізу екологічних даних та формування карт біорізноманіття [1].

Окремим аспектом є правове регулювання використання ШІ у лісовому господарстві, яке передбачає забезпечення прозорості, достовірності та відповідальності при використанні інтелектуальних технологій.

Використання алгоритмів штучного інтелекту як інструменту моніторингу потребує врахування правових норм та стандартів у сфері охорони довкілля [2].



Рис. 1. Схема використання штучного інтелекту у лісовому господарстві та моніторингу біорізноманіття

Разом з тим, використання ШІ у моніторингу лісів і біорізноманіття має певні обмеження. До них належать залежність від якості даних, складність обробки великих обсягів інформації, необхідність високотехнологічної інфраструктури та значні витрати на впровадження систем. Крім того, існують питання інтерпретації результатів та забезпечення достовірності моделей [1, 3].

Отже, застосування штучного інтелекту у лісовому господарстві та моніторингу біорізноманіття є перспективним напрямом розвитку екологічних технологій. Використання інтелектуальних систем дозволяє підвищити ефективність контролю за станом лісів, забезпечити збереження біорізноманіття та сприяти сталому управлінню природними ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Криштоп Є. А., Борисова В. Л. Розумне лісове господарство: використання ГІС та штучного інтелекту для сталого управління лісами. *Лісівництво, перероблення деревини та землевпорядкування: здобутки, стан і перспективи* : Всеукр. науково-практ. конф., 29-30 жовт. Харків. 2024. С. 34-36. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/60417/1/Konf_FLDZ_24_35-37.pdf.
2. Пасат М. О. Правові аспекти використання алгоритмів штучного інтелекту як інструменту моніторингу лісів. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2024. № 11. С. 259-264. DOI <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2024-11/59>.
3. Norouzzadeh M.S., Nguyen A., Kosmala M., Swanson A., Palmer M.S., Packer C., Clune J. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2018. 115(25):E5716-25. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1719367115>.
4. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Плотніков Є. О. Штучний інтелект у системах екологічної безпеки: від моніторингу до превентивного управління. *Екологічні науки*. 2025. № 5(62), ч. 2. С. 111-115. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.18>.

**Глібко В.Р., студент 1 курсу,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності Н4 «Лісове господарство»,
Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

МОНІТОРИНГ ТА УПРАВЛІННЯ ЛІСОВИМИ РЕСУРСАМИ

Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю впровадження інтелектуальних технологій моніторингу, таких як дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та ГІС-технології. Це дозволяє не лише констатувати факти змін у лісовому фонді, а й прогнозувати розвиток негативних процесів, оптимізувати витрати на охорону лісів та забезпечити стале лісокористування. Розробка ефективних стратегій управління є ключовим елементом екологічної безпеки держави в умовах цифрової трансформації галузі.

Сучасний стан лісових екосистем характеризується зростаючим антропогенним тиском та нестабільністю через глобальні кліматичні зміни. Ліси відіграють критичну роль у регулюванні вуглецевого циклу, збереженні біорізноманіття та забезпеченні водного балансу територій. Проте інтенсивна експлуатація ресурсів, незаконні вирубки та похаштання лісових пожеж вимагають переходу від традиційних методів нагляду до інноваційних систем управління, що базуються на оперативних і точних даних.

Питання сталого управління лісовими ресурсами широко висвітлені у працях вітчизняних та закордонних вчених. Як зазначає І. М. Пастернак, ефективність лісокористування безпосередньо залежить від якості інформаційного забезпечення та оперативності оновлення баз даних про стан лісових масивів. Автор наголошує, що перехід до автоматизованих систем обліку є необхідним кроком для мінімізації корупційних ризиків у галузі та підвищення прозорості ринку деревини. Дослідження С. А. Гаврилока підтверджують, що використання супутникових знімків високої розрізної здатності дозволяє ідентифікувати осередки шкідників та хвороб на ранніх стадіях, що значно знижує економічні втрати. Застосування алгоритмів машинного навчання для аналізу спектральних індексів (зокрема NDVI) дає можливість оцінювати динаміку приросту біомаси з похибкою не більше 5-7%, що підтверджується результатами експериментальних моделей. Водночас західні фахівці, зокрема К. Сміт, акцентують увагу на інтеграції екологічних та економічних показників у межах єдиної системи управління. У його працях доведено, що моніторинг повинен бути не лише інструментом контролю, а й підґрунтям для прийняття рішень щодо адаптивного лісоуправління. Інтегрований підхід дозволяє збалансувати інтереси лісозаготівельних підприємств та вимоги щодо збереження заповідних зон.

Система моніторингу лісових ресурсів сьогодні базується на трирівневій структурі: космічне зондування, аерофотозйомка (включаючи дрони) та наземні таксаційні обстеження. Найбільш ефективним є поєднання цих методів, де супутникові дані забезпечують масштабність покриття, а безпілотні літальні апарати (БПЛА) - детальну верифікацію складних ділянок (табл 1.). Це дозволяє створювати цифрові карти лісів з високим ступенем актуальності. Основним інструментом аналізу в сучасних системах управління є геоінформаційні системи (ГІС). Вони інтегрують у собі просторові дані про рельєф, склад насаджень, дорожню мережу та межі лісництв. Завдяки ГІС стає можливим моделювання поширення лісових пожеж з урахуванням швидкості вітру та вологості палива, що є критично важливим для оперативного реагування служб ДСНС.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів моніторингу лісів

Метод моніторингу	Переваги	Обмеження	Оптимальна сфера застосування
Супутниковий (ДЗЗ)	Охоплення великих територій, низька вартість одиниці площі.	Залежність від хмарності, низька деталізація окремих дерев.	Оцінка наслідків пожеж, контроль вирубок.
Аеромоніторинг (БПЛА)	Висока роздільна здатність, оперативність вильоту.	Обмежений радіус дії, чутливість до погодних умов.	Оцінка здоров'я крони, інвентаризація розсадників.
Наземна таксація	Найвища точність вимірювань стовбурів.	Велика трудомісткість, висока вартість.	Фінальна оцінка якості деревини перед заготівлею.

Управління ресурсами передбачає не лише охорону, а й раціональне планування лісосік. Використання методів математичного моделювання дозволяє розрахувати оптимальний обсяг річної лісосіки, який не виснажує ресурсний потенціал лісу. Важливим аспектом є впровадження системи електронного обліку деревини (ЕОД), яка забезпечує маркування кожної одиниці лісопродукції унікальним штрих-кодом безпосередньо на місці вирубки.

Економічна ефективність впровадження цифрового управління проявляється через зниження логістичних витрат. Завдяки автоматизованому прокладанню маршрутів вивезення деревини та оптимізації роботи лісової техніки, підприємства можуть скоротити витрати на паливо до 15%. Крім того, автоматизація звітів зменшує навантаження на адміністративний персонал та виключає помилки, пов'язані з людським фактором.

Таблиця 2

Ризики та методи їх нейтралізації в управлінні

Ризик	Технологія моніторингу	Метод управління (Рішення)
Незаконна рубка	Акустичні сенсори (детектори звуку бензопил)	Оперативний виїзд патрульної групи.
Лісові пожежі	Тепловізійні камери на вежах + ШП	Автоматичне сповіщення ДСНС при виявленні диму.
Шкідники (комахи)	Мультиспектральна зйомка з дронів	Локальна обробка біопрепаратами лише уражених зон.
Всихання лісів	Аналіз багаторічних супутникових серій	Зміна видового складу при переформуванні лісів.

Екологічна складова управління базується на принципах FSC-сертифікації. Це вимагає від лісокористувачів дотримання жорстких норм щодо збереження ґрунтового покриву та джерел води під час проведення господарських операцій. Системи моніторингу в цьому контексті виступають як інструмент незалежного аудиту, що дозволяє споживачам бути впевненими у легальному та екологічному походженні купленої продукції. Загалом, розвиток технологій моніторингу веде до створення «цифрового двійника» лісу. Це віртуальна модель, яка в реальному часі відображає всі зміни в екосистемі. Такий підхід дозволяє перейти від реактивного управління (виправлення наслідків) до проактивного (попередження ризиків), що є головним трендом сучасної природоохоронної інженерії.

Висновок. Проведене дослідження підтверджує, що ефективний моніторинг та управління лісовими ресурсами в сучасних умовах неможливі без широкого впровадження цифрових технологій. Інтеграція космічних даних, БПЛА та наземних обстежень у межах єдиної ГІС-платформи забезпечує високу точність контролю та дозволяє оперативно виявляти загрози, такі як незаконні вирубки та стихійні лиха. Це створює надійний фундамент для переходу до моделі сталого розвитку лісового господарства.

Перспективи подальших розробок полягають у вдосконаленні алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного дешифрування лісових масивів та прогнозування динаміки лісовідновлення. Впровадження інноваційних природоохоронних технологій дозволить забезпечити баланс між економічними інтересами галузі та необхідністю збереження екологічного потенціалу лісів для майбутніх поколінь, що є стратегічним пріоритетом для держави.

Список використаних джерел:

1. Лісовий кодекс України: Закон України від 21.01.1994 № 3852-ХІІ (зі змінами та доповненнями). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12> (дата звернення: 14.04.2026).
2. Бондар О. І., Лакида П. І., Васишин Р. Д. Моніторинг лісових ресурсів: теорія, методологія, практика : монографія. Київ : НУБІП України, 2021. 340 с.
3. Гаврилюк С. А. Використання ГІС-технологій у лісовому господарстві та екологічному моніторингу. Екологічні науки. 2023. № 4 (47). С. 112-118.
4. Дистанційне зондування Землі : підручник / за ред. С. О. Довгого. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2022. 456 с.
5. Smith C., Johnson R. Remote Sensing for Sustainable Forest Management: New Algorithms and Applications. Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 315. Art. 115120.
6. Демчук Л.І., Пацев І.С., Скиба Г.В., Войналович І.М. Оцінка відновлення лісових екосистем після війни: ризики та надії. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Серія: Технологія захисту навколишнього середовища. 2025. Вип. 1. С.191-198. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.1\(499\).27](https://doi.org/10.15589/znp2025.1(499).27)
7. Дичко А.О., Демчук Л.І., Крюковська Л.І., Бельмега І.В. Екологічний підхід до моделювання динаміки лісових пожеж у районах з підвищеним техногенним навантаженням. Наукові перспективи. Вип.№ 3(57). 2026. С.2328-2341. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3\(57\)-2328-2340](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3(57)-2328-2340)
8. Пацева І.Г. Кагукіна А.М. Можарівська І.А. Наукові підходи до вирішення проблем відновлення лісових екосистем. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2025. Вип. 2. С. 95-101. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-12>
9. Пацева І.Г., Кагукіна А.М. Відновлення деградованих лісових екосистем внаслідок бойових дій в умовах змін клімату. Екологічні науки. 2025. Вип. 2(59). С.173-177. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.26>
10. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г., Пацев І. С. Лісові пожежі у фокусі кластерного аналізу: екосистемні та технологічні аспекти через призму VOSviewer. Український журнал природничих наук. 2025. № 11. С. 270-279. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.29>

Горшкальова В.П., здобувачка вищої освіти, 4 курс, групи ЕО-42
Науковий керівник: Кірейцева Г.В., д.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНИЙ КВЕСТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ПРОЕКОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ МОЛОДІ

Актуальність теми. Сучасна екологічна криза, що супроводжується стрімкою зміною клімату, виснаженням ресурсів та накопиченням відходів, вимагає фундаментальної трансформації суспільної свідомості та пошуку нових, дієвих інструментів екологічної просвіти. Традиційні трансляційні методи освіти виявляються недостатньо ефективними для подолання розриву між теоретичними знаннями молоді та їхньою реальною повсякденною поведінкою (так званий KNOW-DO gap). Тому впровадження інноваційних, практико-орієнтованих підходів є надзвичайно актуальним завданням сучасної екології та педагогіки. Зокрема, дослідники вже апробують нові медійні формати екологічної освіти, зокрема подкасти, як засіб підвищення екологічної свідомості молоді [1].

Мета дослідження полягає в оцінці ефективності гейміфікованих форматів (зокрема, екологічних квестів) як інструменту формування сталої екологічної свідомості та проекологічної поведінки студентської молоді на базі Державного університету «Житомирська політехніка».

Результати двоетапного анкетування учасників екоквесту яскраво демонструють, що найбільший концептуальний зсув у свідомості відбувається через виявлення неочевидних екологічних загроз. Авторський екоквест включав 9 тематичних станцій: Waste Sorting (сортування відходів), Decomposition Timeline (час розкладання речей), Upcycling Station (друге життя речей), Green Patrol, Eco-Message (створення еко-контенту), Energy Detective (пошук втрат енергії), Water Footprint (водяний слід), та Eco-Crossing (токсичне болото). Кожна станція поєднувала практичне завдання з миттєвим зворотним зв'язком, що забезпечувало занурення учасників у реальний екологічний контекст.

Вхідне анкетування засвідчило, що більшість учасників вже практикували окремі проекологічні звички: ходили з власною торбинкою (87%), вимикали воду під час чищення зубів (85%), витягували зарядки з розеток (72%), сортували хоча б одну категорію відходів (55%). Водночас самооцінка рівня «еко-просунутості» була переважно середньою: оцінки 3 і 4 обрали понад 67% респондентів, що свідчить про наявність базової екологічної свідомості, але недостатню системність екологічної поведінки.

Зокрема, у рубриці «найбільший шок чи здивування» більшість респондентів вказали на відкриття реальних масштабів водяного сліду (витрати близько 8 000 літрів води на виробництво однієї пари джинсів), а також на усвідомлення прихованого водяного сліду одного бургера (до 15 000 літрів). Такий потужний когнітивний інсайт пояснюється принципами досвідного навчання (experiential learning). На відміну від традиційного інформування, яке оперує абстрактною глобальною статистикою, квестові завдання візуалізують та конкретизують невидимі наслідки споживання, створюючи продуктивний когнітивний дисонанс. Практико-орієнтовані станції забезпечують суттєвий приріст засвоєння складних екологічних понять, перетворюючи абстрактну теорію на особистісно значущий досвід.

Ключовим маркером успішності проведеного заходу є зміна поведінкових установок молоді. Дані порівняльного анкетування засвідчили суттєвий приріст обізнаності: якщо до квесту лише 58% учасників правильно визначили обсяг водяного сліду джинсів (~8 000 літрів), то після проходження станції Water Footprint цей показник сягнув 100%. Решта до квесту розподілялися між варіантами ~500 літрів (32%) та ~50 літрів (10%), що свідчить про системну недооцінку реального водоспоживання у виробництві товарів повсякденного вжитку. Аналогічну динаміку зафіксовано щодо правильного сортування паперового стаканчика від кави: частка коректних відповідей зросла з 63% до 93%.

Оцінювання окремих станцій учасниками виявило, що найвищі бали отримали Decomposition Timeline, Eco-Message та Upcycling Station, тоді як станція Water Footprint, попри найбільший когнітивний ефект, отримала дещо нижчі оцінки залученості - імовірно, через складність сприйняття абстрактних числових даних без додаткової візуалізації. Це вказує на необхідність посилення наочності саме на станціях з кількісними показниками.

За результатами фінішного анкетування всі респонденти обрали щонайменше одну конкретну проекологічну звичку (рис. 1). Домінуючими намірами стали: вийняти порожні зарядки з розеток (97%), розпочати сортування сміття (90%), відмовитися від зайвих покупок (83%), завжди носити еко-торбинку (77%) та поширювати еко-контент у соціальних мережах (71%). Показово, що намір поширювати еко-контент у соціальних мережах обрали 71% учасників - це свідчить про формування не лише індивідуальної, а й соціально-трансляційної мотивації, коли учасник усвідомлює себе агентом змін у своєму оточенні.

Цей успіх безпосередньо обґрунтовується застосуванням механік гейміфікації. Згідно з моделлю поведінки Фогга (Fogg Behavior Model) та фреймворком мотивації Octalysis, глобальні екологічні проблеми часто викликають у молоді відчуття безсилля. Натомість квест декомпозує їх на сильні, досяжні мікро-завдання, формуючи відчуття власної спроможності (self-efficacy). Як зазначають С. Бонку (S. Boncu) та співавтори у своєму системному огляді [2], а також підтверджують дослідження ефективності гейміфікації [3], інтеграція ігрових елементів (нагород, сюжету, миттєвого зворотного зв'язку) сприяє інтеріоризації зовнішніх соціальних норм у внутрішні стійкі патерни поведінки.

Еко-обіцянки: що забирають із собою (після квесту)



Рис. 1. Еко-обіцянки учасників квесту (після квесту), %

Оцінюючи ефективність формату, учасники дослідження одностайно підтвердили перевагу практичних квестів над традиційними лекціями, аргументуючи це тим, що «творчі завдання завжди більше запам'ятовуються» та дозволяють «аналізувати еко-помилки на практиці». Висока оцінка креативних станцій повністю відповідає концептуальній педагогічній моделі CARE-KNOW-DO. Ця модель постулює, що формування екологічно доцільної поведінки неможливе без активації емоційно-ціннісного компонента (CARE), який слугує обов'язковим медіатором між знанням (KNOW) та дією (DO). Як наголошується у дослідженнях компонентів екологічної свідомості [4], емоційно-чуттєвий досвід і можливість творчого самовираження формують глибоке ціннісне ставлення до довкілля. Традиційна трансляційна педагогіка впливає лише на когнітивну сферу, тоді як екоквест завдяки рольовій ідентифікації активізує внутрішню мотивацію, переводячи екофілію на рівень особистісних смислів.

Крім того, результати анкетування засвідчили високу ефективність творчих та соціально-орієнтованих завдань. Станції, пов'язані з апсайклінгом (наданням другого життя речам) та створенням екологічних меседжів для соціальних мереж, отримали найвищі оцінки залученості серед учасників. Це підтверджує, що інтеграція креативного компонента дозволяє не лише інформувати молодь, а й формувати активну позицію еко-амбасадорів, здатних поширювати сталі цінності у своєму цифровому та реальному оточенні.

Висновки. Результати апробації авторського екоквесту на базі Державного університету «Житомирська політехніка» доводять, що гейміфікація є високоефективним інструментом екологічної просвіти студентської молоді. Проведене дослідження дозволяє сформулювати три ключові висновки.

По-перше, екоквест забезпечує вимірюваний когнітивний ефект. Рівень правильних відповідей щодо водяного сліду джинсів зріс із 58 до 100%, а щодо коректного сортування паперового стаканчика - з 63% до 93%. Це підтверджує, що практико-орієнтований формат суттєво переважає традиційне інформування у засвоєнні конкретних екологічних знань.

По-друге, квест ефективно трансформує знання у поведінкові наміри, долаючи KNOW-DO gap. За результатами фінішного анкетування 100% учасників сформулювали щонайменше одну конкретну проєкологічну звичку, яку планують впровадити у повсякденне життя. Особливо показовим є те, що 71% висловили намір поширювати еко-контент у соціальних мережах, що свідчить про формування мультиплікативного ефекту - учасники стають потенційними агентами екологічних змін у своєму оточенні.

По-третє, формат квесту відповідає запитам сучасної молоді на інтерактивність та творче залучення. Учасники одностайно підтвердили перевагу практичних квестів над традиційними лекціями, а найвищі оцінки залученості отримали станції, що поєднували творче завдання із соціальним виміром - апсайклінг та створення еко-меседжів. Завдяки механізмам когнітивного дисонансу, емоційного залучення та декомпозиції глобальних проблем на досяжні мікро-завдання, екоквест активізує внутрішню мотивацію та переводить екологічні цінності на рівень особистісних смислів.

Отже, екоквест виступає не просто інтерактивною грою, а потужним педагогічним каталізатором, що перетворює абстрактну екологічну теорію на стійкі повсякденні еко-звички та формує сталу проєкологічну свідомість молоді.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні лонгітюдного аналізу (через 3-6 місяців) для оцінки стійкості сформованих проєкологічних звичок у повсякденному житті студентів, а також у порівняльному аналізі ефективності аналогових та повністю оцифрованих (мобільних) форматів екологічних квестів.

Список використаних джерел:

1. Kireitseva H., Khrutba V., Patseva I., Khrutba Y., Ustymenko V. Using Podcasts as an Innovative Method of Environmental Education. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2025. Vol. 81 (2). pp. 53-63. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.81.2.37963>
2. Boncu S., Candel O.-S., Popa N. L. Gameful Green: A Systematic Review on the Use of Serious Computer Games and Gamified Mobile Apps to Foster Pro-Environmental Information, Attitudes and Behaviors. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 16. Art. 10400. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141610400>.
3. Novo J., Alves N., Duarte H. The use of gamification and web-based apps for promoting sustainable behaviour. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 8. Art. 3197.
4. Розгон В. В., Миськова Н. М., Курта В. В. Формування екологічно доцільної поведінки в дітей раннього та дошкільного віку. 2025. Вип. 58. С. 230-237. DOI: 10.31376/2410-0897-2025-2-58-230-237.

**Гречанюк Є.В., аспірант кафедри екології,
хімії та технологій захисту довкілля,
Науковий керівник: Іщенко В.А., д.т.н., доц.,
завідувач кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля
Вінницький національний технічний університет**

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА УПРАВЛІННЯ ПОЛІМЕРНИМИ КОМПОНЕНТАМИ ВІДХОДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Вступ. Стрімке зростання обсягів відходів електричного та електронного обладнання є однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності. За оцінками міжнародних організацій, обсяг електронних відходів перевищує десятки мільйонів тонн на рік, причому цей показник має тенденцію до постійного зростання [1]. Водночас, незважаючи на відносно невелику частку у загальній структурі відходів, саме ВЕЕО формують значну частину токсичного навантаження на довкілля [1].

Особливу небезпеку становлять полімерні компоненти електронного обладнання, що містять широкий спектр токсичних речовин, включаючи свинець, кадмій, ртуть, нікель, а також бромовані органічні сполуки [1, 2]. У процесі деструкції такі матеріали можуть утворювати вторинні токсичні продукти, які здатні мігрувати в атмосферне повітря, водні об'єкти та ґрунти.

В Україні проблема поводження з ВЕЕО ускладнюється відсутністю централізованої системи збору. Існуюча інфраструктура представлена окремими пунктами прийому, приватними підприємствами та громадськими ініціативами, що функціонують фрагментарно [2-4]. Це зумовлює необхідність формування системного підходу до організації збору та утилізації таких відходів.

Результати дослідження

Аналіз системи збору електронних відходів в Україні показав, що вона має виражений децентралізований характер і базується переважно на діяльності окремих суб'єктів господарювання, приватних підприємств та громадських ініціатив, які функціонують незалежно один від одного. Така фрагментованість обумовлює нерівномірність територіального покриття та відсутність єдиного механізму координації потоків відходів. Зокрема, у місті Києві функціонують стаціонарні та мобільні пункти прийому, а також сервіси вивозу електронних відходів, що надаються спеціалізованими підприємствами [2]. Водночас подібна інфраструктура розвинена переважно у великих містах, тоді як у малих громадах доступ до послуг утилізації залишається обмеженим.

Встановлено, що найбільш організованою формою збору є діяльність спеціалізованих центрів, які забезпечують повний цикл первинного поводження з відходами, включаючи їх прийом, сортування, часткову обробку та передачу на подальшу переробку або знешкодження. Прикладом є функціонування центрів управління відходами, що надають послуги як для населення, так і для бізнесу [2]. Такі центри виконують ключову роль у формуванні потоків вторинної сировини, однак їх діяльність часто обмежується економічними факторами. Зокрема, значна частина послуг є платною, що знижує мотивацію населення до здачі відходів, або ж існують обмеження щодо прийому окремих категорій ВЕЕО, насамперед тих, що містять складні або небезпечні компоненти.

Проаналізовано діяльність громадських ініціатив, зокрема екологічних рухів та проєктів, спрямованих на підвищення екологічної свідомості населення та популяризацію роздільного збору відходів. Встановлено, що такі ініціативи відіграють важливу роль у формуванні екологічної культури та зміні поведінкових моделей населення [3, 4]. Вони забезпечують інформаційну підтримку, організують тимчасові акції збору відходів, а також сприяють розвитку локальних систем сортування. Разом з тим, їх діяльність має переважно епізодичний характер і залежить від зовнішнього фінансування чи волонтерської активності, що не забезпечує стабільність функціонування та масштабованість таких практик.

Важливим елементом дослідження стало використання цифрових інструментів для пошуку пунктів прийому вторинної сировини. Зокрема, онлайн-платформи та інтерактивні карти дозволяють ідентифікувати найближчі пункти збору, отримати інформацію щодо умов прийому різних видів відходів та оптимізувати логістику їх передачі [5]. Використання таких інструментів значно підвищує доступність інформації для населення та сприяє залученню громадян до процесів роздільного збору. Водночас відсутність інтеграції цих платформ у державну або муніципальну систему управління відходами обмежує їх ефективність і не дозволяє повною мірою використовувати потенціал для моніторингу потоків ВЕЕО.

Особливу увагу приділено аналізу складу електронних відходів з точки зору їх екологічної небезпеки. Встановлено, що навіть такі, на перший погляд, незначні компоненти, як зарядні пристрої, кабелі або периферійні пристрої, містять значну кількість токсичних речовин, включаючи важкі метали (свинець,

кадмій, ртуть), а також стійкі органічні забруднювачі, зокрема бромовані антипірени [1]. У процесі неконтрольованого поводження такі компоненти можуть бути джерелом вторинного забруднення довкілля, що проявляється у вигляді емісії токсичних речовин у повітря, вимивання у ґрунти та водні об'єкти, а також накопичення у біоті. Це підкреслює необхідність їх обов'язкової утилізації у спеціалізованих умовах з дотриманням екологічних стандартів.

Додатково встановлено, що структура потоків ВЕЕО є неоднорідною та залежить від типу обладнання. Найбільш економічно привабливими для збору є великогабаритні відходи, які містять значну частку металів, тоді як дрібна електроніка, що містить переважно полімерні компоненти, залишається недостатньо охопленою системою збору. Це створює дисбаланс у системі управління відходами та призводить до накопичення саме найбільш небезпечних з точки зору токсикології компонентів.

На основі проведеного аналізу запропоновано підхід до формування ефективної системи збору полімерних компонентів ВЕЕО, який передбачає інтеграцію існуючих пунктів прийому у єдину інформаційно-логістичну систему, розвиток мобільної інфраструктури збору з урахуванням територіальної доступності, використання цифрових платформ для інформування населення та впровадження економічних і організаційних механізмів стимулювання. Зокрема, доцільним є застосування диференційованого підходу до різних категорій відходів, що враховує їх матеріальний склад, рівень небезпеки та економічну доцільність переробки.

Запропонований підхід відповідає сучасним принципам управління відходами, зокрема концепції циркулярної економіки, та спрямований на мінімізацію негативного впливу полімерних компонентів ВЕЕО на довкілля. Його реалізація дозволить підвищити ефективність системи збору, забезпечити контроль за потоками небезпечних відходів та створити передумови для сталого розвитку сфери поводження з електронними відходами [6].

Висновки

У результаті дослідження встановлено, що система збору відходів електричного та електронного обладнання в Україні є недостатньо розвиненою та має фрагментарний характер. Основними проблемами є відсутність централізованої інфраструктури, низький рівень охоплення населення та економічна невідповідність переробки окремих компонентів [2, 4].

Визначено, що полімерні компоненти ВЕЕО становлять значну екологічну небезпеку через наявність токсичних речовин та здатність до утворення вторинних забруднювачів. Особливої уваги потребує проблема утилізації дрібної електроніки, яка найчастіше потрапляє до загального потоку відходів [1].

Обґрунтовано доцільність впровадження системного підходу до організації збору ВЕЕО, що передбачає інтеграцію існуючих ініціатив, розвиток інфраструктури та використання сучасних інформаційних технологій [5, 6].

Список використаних джерел:

1. Вечірній Київ. Пункти утилізації електронних відходів у Києві. <https://vechirniy.kyiv.ua/news/67671/>
2. Центр управління відходами (ЦУВ). Офіційна інформація про прийом електронних відходів. <https://recycle.com.ua>
3. E-WASTE Ukraine Project. <https://letsdoitgreenukraine.com.ua/project/e-waste-ukraine/>
4. Let's do it Ukraine. Огляд діяльності організації. <https://letsdoitukraine.org/about/overview/>
5. Recycling Points Map. Карта пунктів прийому вторинної сировини. <https://recyclingpoints.org/>
6. Zero Waste Cities in Ukraine. <https://zerowaste.org.ua/en/zero-waste-cities-in-ukraine-en/>

**Грибінчук В.А., студент, 4 курс, група НЗ-3,
факультет гірничої справи,
природокористування та будівництва
Науковий керівник: Шевчук Л.М., д.б.н., проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРОСТОРОВУ ДИФЕРЕНЦІАЦІЮ СТОКУ Р. УЖ У МЕЖАХ КОРОСТЕНСЬКОЇ ГРОМАДИ

Просторова диференціація стоку р. Уж у межах Коростенської міської територіальної громади Житомирської області зумовлена не лише природними фізико-географічними чинниками, а й суттєво відмінним рівнем антропогенного навантаження на водозбори окремих суббасейнів. Дослідження виконано на основі даних гідрологічного моделювання у системі SWAT+ для п'яти суббасейнів р. Уж: 1007 (фрагмент 3), 3448 (фрагмент 4), 3437 (фрагмент 5), 980 (фрагмент 6) та 3441 (фрагмент 7), що охоплюють повний відрізок річки від входу в межі громади до її виходу за північно-східну адміністративну межу [1].

За рівнем антропогенного навантаження виявлено три функціональні типи суббасейнів. Перший тип представлений суббасейном 1007, водозбір якого охоплює приміську зону м. Коростень та угіддя Холосненського і Хотинівського старостинських округів [2]. Поєднання урбанізованих поверхонь, дорожньої інфраструктури та ущільнених ґрунтів зумовлює найвищий серед усіх суббасейнів номер кривої стоку $CN = 81$ та максимальний поверхневий стік 55 мм/рік при мінімальному просочуванні у водоносний горизонт 171 мм/рік і найнижчому підземному живленні річки 59 мм/рік [1].

Другий тип (суббасейни 3448 і 980) характеризується помірним сільськогосподарським навантаженням: частка ріллі становить відповідно ~15 % і ~25 %, що підтримує значення CN на рівні 78-80 і поверхневий стік 13-27 мм/рік. Ці суббасейни є зоною найбільш динамічної взаємодії між кліматичним і антропогенним чинниками: скорочення снігових ресурсів унаслідок потепління не компенсується достатнім підземним живленням (86-133 мм/рік), а збереження орних площ перешкоджає компенсаторному зростанню інфільтрації [1].

Третій тип (суббасейни 3437 і 3441) має найнижче антропогенне навантаження: частка ріллі не перевищує 0-3 %, а лісово-луговий покрив займає понад 55-75 % водозбору. Це забезпечує мінімальне значення CN (75-80), максимальну інфільтрацію (240-274 мм/рік) і найстабільніше підземне живлення річки (125-133 мм/рік), яке є головним стабілізатором базового стоку в меженний період. Водночас саме ці суббасейни є найбільш вразливими до незаконного видобутку бурштину: порушення ґрунтово-рослинного покриву лісових водозборів здатне незворотно знизити їх інфільтраційну здатність і перевести суббасейни до більш вразливого функціонального типу з переважанням поверхневого стоку [1, 2].

Просторовий аналіз показує, що при практично однаковій кількості опадів (681-698 мм/рік) поверхневий стік між суббасейнами різниться у 9,2 раза (від 6 мм/рік у суббасейні 3437 до 55 мм/рік у суббасейні 1007), а підземне живлення - у 2,3 раза (від 59 до 133 мм/рік). Ця закономірність переконливо свідчить, що антропогенне навантаження, відображене у структурі землекористування та значенні CN , є вирішальним чинником просторової диференціації стоку в межах єдиної кліматичної зони. Визначені відмінності між суббасейнами зберігаються стабільно впродовж усього 30-річного модельного ряду (1990-2020 рр.) [1, 2].

Антропогенний і кліматичний чинники діють як взаємопосилюючі: потепління скорочує снігозапаси, а висока частка водонепроникних поверхонь не дозволяє компенсувати втрату снігового ресурсу через підземне накопичення. Найбільш критичним є суббасейн 1007, де поєднання $CN = 81$, підземного стоку 59 мм/рік і максимальних снігозапасів ~43 мм H_2O формує найвищий ризик поглиблення меженого стоку. За умови продовження тренду потепління (+1,1 °C/десятиліття) саме населені пункти, водозабезпечення яких залежить від стоку суббасейну 1007, стануть зоною першочергового ризику дефіциту водних ресурсів [1].

Отримані результати є основою для розробки диференційованих заходів управління водними ресурсами Коростенської громади: посилення водоохоронного режиму у лісових водозборах третього типу, оптимізації землекористування у суббасейнах другого типу та пріоритетного моніторингу стану водних ресурсів у суббасейні 1007 як найбільш вразливій вхідній ділянці річки в межах громади [1, 2].

Список використаних джерел:

1. Осипов В. В., Матвієнко Є. А., Бончковський А. О., Осадча Н. М., Мосур Г. І., Агафонов Ю. О. Land & Water: агро-гідрологічна модель річкових басейнів України [Електронний ресурс]. Київ : УкрГМІ ДСНС та НАН України, 2023. URL: <https://landwater.uhmi.org.ua> (дата звернення: 26.04.2026).

2. Коростенська міська рада. Екологічний паспорт Коростенської міської територіальної громади станом на 01.01.2023 [Електронний ресурс]. Коростень, 2023. URL: <https://korosten-rada.gov.ua/wp-content/uploads/2023/09/ekologichnyj-pasport-gromady-2023-rik-.pdf> (дата звернення: 26.04.2026).

УДК 550.4:504

Гуменна М., студентка 1 курсу, група ГТ-51, факультет геоінженерії
Науковий керівник: Гребенюк Т.В., к.т.н., доц. кафедри геоінженерії
Національний технічний університет України
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ГЕОХІМІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА В. М. ГОЛЬДШМІДТОМ ТА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується значним антропогенним навантаженням на довкілля, що призводить до порушення природних геохімічних циклів. У цьому контексті важливого значення набуває розуміння закономірностей міграції та розподілу хімічних елементів, що лежить в основі геохімічної класифікації В.М. Гольдшміда.

Актуальність теми зумовлена тим, що антропогенний вплив на довкілля спричиняє перерозподіл хімічних елементів у біосфері та порушення природних геохімічних циклів. Геохімічна класифікація дозволяє не лише систематизувати ці процеси, а й прогнозувати поведінку забруднювачів у різних компонентах навколишнього середовища.

Згідно з класифікацією Гольдшміда, всі хімічні елементи поділяються на чотири основні групи: літофіли, халькофіли, сидерофіли та атмофіли. Літофільні елементи мають високу спорідненість до кисню та накопичуються в силікатних породах, формуючи основну масу земної кори. Халькофільні елементи, навпаки, тяжіють до сірки та утворюють сульфідні сполуки, що зумовлює їхню високу токсичність і значну роль у процесах техногенного забруднення. Сидерофільні елементи концентруються у металевому ядрі Землі та здатні утворювати сплави з залізом, тоді як атмофільні елементи формують леткі сполуки та беруть участь у глобальних атмосферних процесах. У промислових умовах халькофільні елементи часто потрапляють у довкілля у вигляді пилу або розчинних сполук, що підвищує їхню мобільність і доступність для живих організмів. Потрапляючи у відновне середовище, вони можуть утворювати стійкі сульфідні сполуки, формуючи локальні зони забруднення. Основою такого поділу є здатність елементів взаємодіяти з певними хімічними сполуками та їх розподіл між геосферами Землі - ядром, мантією, корою, гідросферою та атмосферою. Такий підхід дозволяє пояснити не лише їх природне поширення, а й поведінку в умовах техногенного впливу.

З екологічної точки зору дана класифікація дозволяє прогнозувати поведінку забруднювачів у природному середовищі. Наприклад, літофільні елементи мають здатність закріплюватися у ґрунтах, тоді як атмофільні можуть переноситися на значні відстані, спричиняючи транскордонне забруднення. Особливу небезпеку становлять халькофільні елементи, зокрема важкі метали (Pb, Cd, Hg), які здатні накопичуватися в екосистемах і чинити токсичний вплив на живі організми.

Важливим явищем є геохімічна мімікрія, за якої токсичні елементи імітують поведінку життєво необхідних біофілів. Зокрема, кадмій може заміщувати цинк, а свинець - кальцій у біологічних структурах, що призводить до їх накопичення в організмах та порушення фізіологічних процесів. Це зумовлює ефект біоаккумуляції та підсилення концентрації токсичних речовин у трофічних ланцюгах.

Отже практичне значення класифікації проявляється у можливості розробки заходів запобігання негативному впливу елементів. Так, моніторинг ґрунтів біля металургійних підприємств дозволяє виявляти накопичення Pb та Cd; застосування біоремедіації сприяє очищенню води від Hg; міжнародні угоди, як-от CLRTAP, регулюють транскордонне поширення атмофільних сполук. Використання фіторемедіації забезпечує вилучення токсичних халькофілів із ґрунтів, зменшуючи ризики для екосистем.

Отже, геохімічна класифікація елементів за В. М. Гольдшмідом є важливим інструментом для аналізу міграції хімічних речовин у довкіллі та оцінки екологічних ризиків. Вона дозволяє прогнозувати поведінку забруднювачів, враховуючи їхню хімічну природу та умови середовища. Застосування цієї класифікації сприяє підвищенню ефективності екологічного моніторингу, розробці заходів ремедіації та формуванню стратегій захисту навколишнього середовища.

Список використаних джерел:

1. Geochemical classification of elements [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://dspmuranchi.ac.in/pdf/Blog/Geochemical%20classification%20of%20elements.pdf> (дата звернення: 22.04.2026).
2. Рудишин, І. Геохімічна класифікація елементів [Електронний ресурс] / І. Рудишин. - Вінниця : ВНТУ, 2023. - Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Rudyshyn_2023_320.pdf (дата звернення: 22.04.2026).
3. United Nations Economic Commission for Europe. Air Pollution [Електронний ресурс] / UNECE. - Женева : UNECE, 2026. - Режим доступу: <https://unece.org/environmental-policy-1/air> (дата звернення: 30.04.2026).

**Дідняк А.В., студентка четвертого курсу академічної групи ПО 4/1,
інженерно-енергетичного факультету
Науковий керівник: Курепін В.М., к.е.н., доц.
Миколаївський національний аграрний університет**

ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНЕ ВОДОКОРИСТУВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МІСТА МИКОЛАЇВ

Для міста Миколаїв важливим є застосування екологічно орієнтованого підходу до водокористування. Зона підвищеного водного ризику, у якому розташоване місто поєднує природну обмеженість ресурсів та значне антропогенне навантаження. Загрязнення та пошкодження інфраструктури, зменшення стоку значно ускладнили стабільне водопостачання міста. Із за цього традиційна модель інтенсивного водоспоживання стала неефективною та небезпечною для міської екосистеми та економіки.

Екологічно орієнтоване водокористування передбачає оптимізацію та раціональне споживання водних ресурсів [1, с. 174]. У Миколаєві, де періодично виникають перебої з централізованим водопостачанням, актуальним стає впровадження замкнених систем водопостачання, будівництво локальних очисних споруд, систем збирання та використання дощової води, впровадженням сучасних технологій очищення вже використаної природної води. Розглянемо приклади раціонального управління водними ресурсами Миколаєва.

Особливо актуальним для міста є багаторазове використання води місцевими промисловими підприємствами. Такі процеси скорочують обсяги скидів води у річки та зменшують обсяги забирання води з природних джерел. Це також позитивно впливає на їх екологічний стан у місті [2, с. 102].

Важливим напрямком є використання дощової води в приватних домогосподарствах та на підприємствах. Використання дощової води для технічних потреб дозволяє зменшити навантаження на централізовані системи водопостачання міста. Додатково модернізація очисних споруд міста відкриває можливість повторного використання очищених стічних вод для зрошення міських зелених зон тощо.

Умови останніх років показали - залежність від одного джерела водопостачання є вразливим фактором. Диверсифікація системи та забезпечення більш стабільного функціонування міста необхідна та вкрай важлива для Миколаєва. Екологічно орієнтоване водокористування може відбутися завдяки альтернативним джерелам, повторному використанню води та впровадженню водозберігаючих технологій. Такі підходи мають економічний ефект: підприємства зменшують витрати на водопостачання та водовідведення [3, с. 596], а місто - витрати на підтримку інфраструктури.

Стратегічний напрямок такого розвитку забезпечує збереження водних ресурсів, покращує стану довкілля та підвищує якість життя населення. Він формує основу для сталого функціонування міста в умовах обмежених природних ресурсів.

Впровадження екологічно орієнтованого водокористування у південному регіоні України, зокрема місті Миколаїв має економічні та екологічні переваги. Водні ресурси для підприємств міста, на жаль, є обмеженими та уразливими до надмірного навантаження, тому впровадження екологічно орієнтованого водокористування є необхідною умовою існування бізнесу.

Скорочення обсягів забору води та зменшення скидів забруднених стічних вод підприємствами міста суттєво знижує вплив на природні водойми. Це має критичне значення для збереження екологічного стану взагалі та водних ресурсів окремо [4, с. 345]. Для міста Миколаїв водопостачання значною мірою пов'язане з річками Південний Буг та Інгул, тому важливо, на практиці, підприємствам впроваджувати замкнені системи водопостачання. Такі технології істотно зменшать потребу в заборі води з природних джерел.

Деякі промислові об'єкти Миколаєва для технічних потреб виробничого процесу використовують природну воду. Скоротити споживання в рази таким підприємствам допоможе багатофункціональне очищення, яке забезпечить скорочення використання природних водних джерел в рази. Багаторазове використання води після очищення дозволяє менше води повертати у річки у вигляді стоків, що знижує ризик термічного та хімічного забруднення. Аналогічні підходи застосовуються на харчових підприємствах міста, де повторне використання води після очищення зменшує навантаження на міські очисні споруди та природні водойми.

Екологічна безпека підприємств Миколаєва, за рахунок використання сучасних технологій очищення та контролю якості води дозволяє мінімізувати викиди шкідливих речовин у довкілля. Ця актуальність важлива для підприємств, яка розташовані поблизу водних об'єктів [5, с. 11]. Навіть незначні забруднення у майбутньому можуть надати довготривалі наслідки для екосистем. Впроваджуючи локальні очисні станції із багаторівневою системою очищення вони забезпечують відповідність стічних вод екологічним норм, знижують ризики штрафів та екологічних збитків.

Щодо економічних переваг, слід відмітити зниження витрат, пов'язаних із ліквідацією наслідків забруднення; зменшення витрат на закупівлю води та її відведення. Інвестиції в екологічні технології

окупуються підвищенням ефективності виробництва та зниженням ресурсних витрат. У довгостроковій перспективі це конкурентоспроможність підприємств на основі дотримання екологічних стандартів та екологічною відповідальністю.

Підприємства Миколаєва, які налаштовані впроваджувати екологічно орієнтоване водокористування стикається з низкою серйозних перешкод. Серед них особливо відчутними є висока вартість модернізації, обмежені інвестиційні можливості, складні технічні та організаційні аспекти [6, с. 89].

Інша проблема - значна частина промислових об'єктів у місті була побудована ще в другій половині ХХ століття, зрозуміло інфраструктура не відповідає сучасним екологічним вимогам. Модернізація таких систем потребує заміни обладнання, реконструкцію трубопроводів, впровадження нових технологій очищення та автоматизації процесів. Значних капіталовкладень потребує, наприклад, встановлення мембранних систем очищення, створення повноцінних замкнених циклів водопостачання. Це складне завдання для підприємств із обмеженими фінансовими ресурсами.

Стимує розвиток водозберігаючих технологій недостатній рівень інвестицій. У деяких випадках підприємства змушені відкладати екологічні проекти на користь більш нагальних виробничих потреб. Це характерно для середнього та малого бізнесу. Доступ до дешевих кредитів або державної підтримки у таких підприємств обмежений. Відсутність стабільного фінансування ускладнює реалізацію впровадження екологічних рішень, даже у тих випадках, коли вони потрібні терміново. Додатково ситуацію ускладнює довгий термін окупності таких проектів, це знижує їхню привабливість для інвесторів.

Організаційні проблеми також стають перешкодами, вони включають недостатню координацію між різними підрозділами підприємства [7, с. 427], відсутність чіткої екологічної стратегії та недосконалість управлінських рішень у сфері ресурсозбереження, недостатню кількість висококваліфікованого персоналу для обслуговування та контролю.

Отже, умова сталого розвитку підприємств південного регіону України, зокрема міста Миколаїв - екологічно орієнтоване водокористування. Впровадження сучасних технологій очищення та повторного використання води забезпечує економічні та екологічні вигоди. Подальший розвиток екологічно орієнтованого підходу потребує комплексної підтримки, інвестицій та стратегічного підходу до управління водними ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Юрченко К. Д. Покращення стану навколишнього середовища: концепція життєвого циклу. Екологічні та соціальні аспекти розвитку економіки в умовах євроінтеграції : матеріали Х Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 23-25 жовтня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 172-175. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18923>.
2. Курепін В. М., Зубехіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V54\(2025\)-13](https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13).
3. Іваненко В. С. Шляхи виживання та розвитку українського бізнесу під час воєнного стану. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С. 595-598. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22542>.
4. Іваненко В. С. Специфіка розвитку підприємств у посткризових умовах : тези доповідей XII Всеукраїнської наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 29-31 жовтня 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 344-346. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23086>.
5. Іваненко В. С., Курепін В. М. Захист водних ресурсів та джерел водопостачання // Захист водних ресурсів - Глобальні виклики, загрози опустелювання територій, міжнародні зобов'язання держав світу : тези доповідей з щорічного тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 22 березня 2022 року. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 9-13. URL <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11213>.
6. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226>.
7. Мельничук Д. В. Ключові елементи ефективного управління виробництвом: методи та підходи. Сучасні тренди соціально-економічних перетворень та інтелектуалізації суспільства в умовах сталого розвитку : тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 20-21 жовтня 2025 р.). Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 426-428. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22813>.

**Довгань К.І., студент IV курсу, групи ЗНЗ-22,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Науковий керівник: Шевчук Л.М., д-р біол. наук, проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВПЛИВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ НА ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК БАСЕЙНУ РІЧКИ ТЕТЕРІВ

Урбанізація є одним із визначальних антропогенних чинників трансформації гідрологічного режиму річкових басейнів [2]. Зростання частки водонепроникних покриттів (асфальтових і бетонних поверхонь, покрівель, транспортної інфраструктури) спричиняє різке збільшення коефіцієнта поверхневого стоку, скорочення інфільтраційного живлення підземних вод і концентрацію забруднювачів у водотоках. Для басейну річки Тетерів (права притока Дніпра, площа водозбору $\approx 15\,300$ км², довжина 365 км), де розташовано обласний центр Житомир (близько 270 тис. мешканців) та низку промислово-аграрних центрів (Коростишів, Радомишль), ця проблема є особливо актуальною в контексті сталого водокористування та управління ризиками підтоплень [5].

Метою дослідження є кількісна оцінка впливу урбанізованих територій на формування поверхневого стоку басейну річки Тетерів, аналіз гідрохімічного стану поверхневих вод у зонах антропогенного навантаження та розробка практичних рекомендацій щодо оптимізації водного режиму в умовах зростаючої урбанізації.

Дослідження ґрунтується на комплексному методологічному підході. Просторовий аналіз урбанізованих площ проведено з використанням супутникових знімків Sentinel-2 (ESA Copernicus) [4] та 5-категорійної класифікації землекористування (урбанізовані території, сільськогосподарські угіддя, лісові масиви, відкриті ґрунти та луки, водні об'єкти й болота). Гідрологічний аналіз базується на даних спостережень (1990-2020 рр.) по гідрологічних постах Житомир і Радомишль [1]; для оцінки якості вод використано матеріали моніторингу Житомирського обласного центру гідрометеорології (2018-2024 рр.). Кількісний зв'язок між рівнем урбанізації та показниками стоку встановлено методом лінійної регресії [2].

ГІС-аналіз показав, що частка урбанізованих територій у басейні Тетерева становить у середньому 7,2 %, проте в районі Житомира цей показник зростає до 23 %. У центральних і промислових кварталах міста частка водонепроникних покриттів сягає 65-70 %, тоді як у природних передмістях не перевищує 25 %. ГІС-модель виділила три зони впливу: високого рівня урбанізації (міські агломерації і промислові кластери), помірного рівня (передміські зони зі змішаною забудовою) та низького рівня (сільськогосподарські й природоохоронні угіддя). Незважаючи на те, що урбанізовані площі займають лише 7 % водозбору, вони формують 25-30 % загального обсягу поверхневого стоку [1].

Тип території	Частка у басейні, %	Коефіцієнт стоку Ψ
Урбанізовані (щільна забудова)	7,2	0,70-0,90
Сільськогосподарські угіддя	55,0	0,35-0,45
Лісові масиви	35,0	0,15-0,25
Болота та водні об'єкти	2,8	0,10-0,15

Зведений середній коефіцієнт стоку для всього басейну становить $\approx 0,38$, тоді як для власне урбанізованих ділянок він у 2-3 рази вищий. Регресійний аналіз гідрологічних рядів установив статистично значущий прямий зв'язок між часткою водонепроникної поверхні X_1 (%) та коефіцієнтом стоку [2]:

$$\Psi = 0,19 + 0,008 \cdot X_1 \quad (R^2 = 0,83), \quad (1)$$

тобто кожні додаткові 10 % урбанізованої площі підвищують загальний коефіцієнт стоку басейну приблизно на 0,08. За даними багаторічних спостережень, пікові витрати води в Тетереві під час зливових епізодів зросли за 1990-2020 рр. на 15-20 % при одночасному зниженні витрат у межень. Річна кількість опадів у басейні коливається в межах 600-700 мм; весняне сніготанення формує 45-50 % річного стоку, а середньорічна витрата поблизу Житомира становить 25-30 м³/с (мінімальна в межень: 3-4 м³/с) [1].

Якісний аналіз виявив системне перевищення нормативів ГДК у середній течії річки: за показником БСК₅ у 1,3-1,7 рази, за фосфатами у 1,5-2,0 рази. За 2014-2024 рр. загальне сольове навантаження на водотік зросло на ≈ 20 %. Основними джерелами забруднення є неорганізований поверхневий злив із дорожніх покриттів (нафтопродукти, важкі метали Zn, Pb, Cu, Fe), неефективні зливові колектори зі значним зносом та побутові скиди. Синергетичний ефект урбанізації проявляється у тому, що прискорений стік скорочує час самоочищення водних об'єктів, а теплові аномалії міського середовища (ефект «теплового острова») підвищують концентрацію забруднювачів у межень [2].

Міжнародний досвід управління міським стоком свідчить про ефективність комплексного підходу Low Impact Development (LID), успішно реалізованого у Польщі, Чехії та Нідерландах [3]. Зокрема, у Вроцлаві впровадження дощових садів і проникних покриттів на 12 % міської площі знизило пікові витрати малих водотоків на 35 % та покращило якість вод за фосфатами на 28 % [3]. Для Житомира, де рівень зносу зливної каналізації перевищує 60 %, а нові забудовані площі за 2010-2023 рр. зросли на 8,4 %

без відповідних компенсаційних водогосподарських заходів, адаптація принципів LID є науково обґрунтованим і економічно доцільним напрямом.

Прогнозне моделювання за базовою формулою $Q = \Psi \cdot P \cdot F$ показало: за умови збереження поточного темпу зростання урбанізованих площ (0,4-0,5 % на рік) до 2040 р. середній обсяг поверхневого стоку може збільшитися на 10-12 %, пікові витрати під час злив на 20-25 %, а підземне живлення річки скоротиться на 7-10 %. Це суттєво підвищить ризик підтоплення низинних ділянок Житомира і Радомишля, посилить евтрофікаційні процеси у нижній частині басейну перед Київським водосховищем та збільшить сукупні економічні збитки від паводків у Житомирській агломерації [1].

Для стабілізації водного режиму запропоновано комплекс диференційованих заходів, розподілених за пріоритетністю та масштабом втручання. У сфері зеленої інфраструктури передбачено впровадження дощових садів і біоретенційних ділянок, зелених дахів та перфорованих бруківок, а також біофільтраційних каналів (swales), природних лотків із рослинністю, що затримують і поступово відводять дощові потоки [3]. Сукупно ці заходи здатні знизити локальний поверхневий стік на 30-50 %, підвищити частку інфільтраційного живлення підземних вод і скоротити піковий скид забруднених стоків у річкову систему в дощовий сезон на 20-40 %. Їх впровадження відповідає вимогам Директиви ЄС 2007/60/ЄС щодо природоорієнтованих рішень управління повеневими ризиками.

В інженерно-гідротехнічній сфері запропоновано реконструкцію зливових колекторів з установкою пісколовків і фільтраційних відстійників для вловлення завислих речовин і нафтопродуктів; будівництво акумулювальних резервуарів для тимчасового зберігання піків дощових стоків з подальшим їх поступовим випуском у водотоки; відновлення прибережних буферних смуг шириною не менше 50 м і заплавної рослинності малих приток як природних фільтрів та регуляторів стоку. Окремо обґрунтовано необхідність регенерації малих міських водотоків через розчищення захаращених русел і ренатуралізацію спрямлених ділянок. Реалізація зазначених заходів на водозборі Тетерева дозволить знизити пікові витрати паводків 25-50 -річної повторюваності на 15-20 % та зменшити надходження завислих речовин у річку на 30-35 %.

Для органів місцевого самоврядування розроблено рекомендації щодо нормування максимальної частки водонепроникних поверхонь у нових забудовах (не більше 40 % площі ділянки) та обов'язкового облаштування накопичувальних резервуарів і зливоочисних споруд при проектуванні об'єктів площею понад 0,5 га [5]. Для забезпечення системного контролю рекомендовано створити інтегровану ГІС-моніторингову платформу, що поєднає дані дистанційного зондування (Sentinel-2, Sentinel-1 SAR) [4], стаціонарних гідрологічних постів і автоматизованих датчиків якості води у режимі реального часу. Накопичені дані платформи мають забезпечити оновлення карт паводкового ризику відповідно до Директиви 2007/60/ЄС та слугувати інформаційною основою для коригування Плану управління річковим басейном Дніпра.

Таким чином, урбанізація є провідним чинником трансформації поверхневого стоку басейну Тетерева: попри те, що урбанізовані площі займають лише 7,2 % водозбору, вони формують чверть загального стоку й зумовлюють системне перевищення гідрохімічних нормативів. Встановлений регресійний зв'язок ($R^2 = 0,83$) між часткою водонепроникних поверхонь і коефіцієнтом стоку дозволяє кількісно обґрунтовувати нормативи забудови для нових кварталів. Запропонований комплекс заходів (зелена інфраструктура, інженерно-гідротехнічні рішення та нормативно-управлінські механізми) становить наукову основу для регіональних програм сталого водокористування, протипаводкового захисту Житомирської агломерації та управління якістю вод у нижній частині басейну Тетерева.

Список використаних джерел:

1. Гребін В. В. Сучасний водний режим річок України. Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
2. Хільчевський В. К., Ободовський О. Г. та ін. Загальна гідрологія : підручник. Київ : КНУ, 2008. 399 с.
3. Fletcher T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage // Urban Water Journal. 2015. Vol. 12(7). P. 525-542.
4. Sentinel-2 User Handbook / ESA. 2015. URL: <https://sentinel.esa.int> (дата звернення: 20.04.2026).
5. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/213/95-вр> (дата звернення: 20.04.2026).
6. Хом'як І. В., Онищук І. П., Медвідь О. В., Пацева І. Г., Хом'як О. І. Вплив скиду зворотніх вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізноманіття долини річки Роставиця. Український журнал природничих наук. 2024. Вип. 9. С 331-343.
7. Шевчук Л.М. Критерії оцінки екологічної безпеки прісноводних екосистем на основі популяційних характеристик *Unio crassus* (Mollusca, Bivalvia, Unionidae). Збірка наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2025. №4 (502). 2025. С. 438-446
8. Шевчук Л.М., Герасимчук О.Л., Васильєва Л.А., Гальчин М.В.. Екологічна безпека басейну Дунаю: координація транскордонних програм моніторингу в Україні. Збірка наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2025. №3 (501). С. 272-281
9. Шевчук Л.М., Васильєва Л.А., Герасимчук О.Л., Шабатин В.О. Вплив видобутку бурштину на гідрологічний режим, біорізноманіття річки Уборть та водоутримуючу здатність прилеглих територій. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2025. №5. С. 16-23.

УДК 631.4:631.582:504.53

**Долінніков М.О., студент IV курсу, групи ЗТЗНС-23к,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD,
ст. викладач кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТІВ УНАСЛІДОК ІНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Інтенсивне землеробство в сучасних умовах є одним із ключових факторів антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив, що призводить до значних змін його фізичних, хімічних та біологічних властивостей. Постійне зростання попиту на продовольство стимулює аграрний сектор до підвищення врожайності шляхом активного використання мінеральних добрив, засобів захисту рослин, глибокої механічної обробки ґрунту та впровадження монокультур [1]. Однак дані практики часто викликають порушення природної рівноваги агроєкосистем і призводять до деградації ґрунтів.

Деградація ґрунтів виявляється у комплексі процесів, серед яких основне місце займають ерозія, збіднення ґрунтів, ущільнення, засолення, закислення, а також значне хімічне забруднення. Ерозійні процеси, особливо водна та вітрова ерозія, викликають втрату родючого верхнього шару ґрунту, що безпосередньо впливає на його продуктивність [1]. Збіднення ґрунтів, через інтенсивний обробіток та недостатнє внесення органічних речовин, веде до зниження вмісту гумусу - основного показника родючості. Ущільнення ґрунту, що викликано використанням важкої сільськогосподарської техніки, порушує його структуру, знижує водопроникність та аерацію, що негативно впливає на розвиток кореневої системи рослин.

Для визначення ступеня деградації ґрунтів та комплексної оцінки їхнього екологічного стану застосовується система методів, що охоплює агрохімічні, фізичні та біологічні показники [2]. Агрохімічні дослідження дозволяють встановити вміст гумусу, рівень кислотності (pH), забезпеченість макро- та мікроелементами, а також наявність забруднюючих речовин, таких як важкі метали чи залишки пестицидів.

Сучасні підходи до оцінки стану ґрунтів передбачають інтеграцію традиційних методів із цифровими технологіями. Використання геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє здійснювати просторовий аналіз деградаційних процесів, виявляти їх поширення та динаміку, а також формувати картографічні моделі стану ґрунтового покриву [2]. На основі отриманих даних розраховуються інтегральні показники, зокрема індекс якості ґрунту, який узагальнює різні параметри та дозволяє здійснювати порівняльну оцінку територій. Такий комплексний підхід забезпечує більш точне визначення рівня деградації, сприяє прогнозуванню змін у ґрунтовому середовищі та є основою для розробки ефективних заходів щодо його відновлення та раціонального використання. Наслідки деградації ґрунтів мають не лише екологічний, але й значний економічний характер.

У зв'язку з цим значної актуальності набуває впровадження заходів, спрямованих на зменшення деградації ґрунтів і відновлення їх родючості. До таких заходів належать мінімізація або нульовий обробіток ґрунту, впровадження науково обґрунтованих сівозмін із включенням нових перспективних культур, внесення органічних добрив, та технології точного землеробства. Реалізація даних підходів дозволяє знизити антропогенне навантаження на ґрунтовий покрив, підвищити його стійкість до деградації і забезпечити довгострокову продуктивність сільськогосподарських земель.

Саме тому, екологічна оцінка деградації ґрунтів є важливим інструментом для дослідження негативних змін у ґрунті та обґрунтування заходів щодо їх зменшення. Комплексний підхід до дослідження стану ґрунтів і впровадження сталих практик землекористування є необхідною умовою збереження їх родючості та екологічної рівноваги. Всі ці заходи є надзвичайно важливими у контексті сталого розвитку та продовольчої безпеки.

Список використаних джерел:

1. Можарівська І.А., Довбиш Л.Л., Кравчук Т.В., Кот Ю., Чмарак Р. Ефективність удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно. Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 136. Ч. 2. С. 55-60. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.8>
2. Мельник-Шамрай В. В., Кравчук-Ободзінська Т. В., Алпатова О. М., Сікач Т. І. Біологічні індикатори деградації ґрунтів у контексті глобальних кліматичних змін. Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України. Аграрні інновації. 2025. № 33. С. 187-192. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.33.31>

**Древняк В.Є., студент IV курсу
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища»,
науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА В М. ФАРСЬО (ДАНІЯ)

Актуальність дослідження підсилюється необхідністю досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, згідно з Європейським зеленим курсом. Впровадження інноваційних методів переробки відходів тваринництва у Фарсьо, зокрема термічної та біологічної обробки, дозволяє розглядати відходи не як тягар, а як цінний енергетичний та добривний ресурс, що зменшує залежність від мінеральних добрив.

Інтенсифікація тваринницького сектору в Данії, що є одним зі світових лідерів з експорту свинини та молочної продукції, призводить до генерації колосальних обсягів органічних відходів та побічних продуктів тваринного походження. Місто Фарсьо, розташоване в регіоні Північна Ютландія, є епіцентром впровадження передових технологій циркулярної економіки. Питання екологічно безпечної утилізації цих відходів є критичним, оскільки неправильне поводження з ними загрожує забрудненням ґрунтових вод нітратами та емісією парникових газів (метану та закису азоту).

Для Данії, де діє суворе екологічне законодавство, перехід від простого зберігання гною до його переробки на біогазових установках є стратегічним пріоритетом. Досвід Фарсьо демонструє успішну синергію між фермерськими господарствами та промисловими потужностями, що дозволяє мінімізувати екологічні ризики. Оцінка ефективності таких систем є базовою для формування стратегій сталого розвитку аграрних регіонів не лише в Скандинавії, а й в Україні.

Дослідження датського досвіду базується на роботах H.J. Al Seadi та V.G. Blanes, які детально описують принципи роботи сільськогосподарських біогазових установок у Данії. Екологічні аспекти вимивання азоту та фосфору в ґрунтах Ютландії висвітлені у звітах Danish Environmental Protection Agency (EPA). Теоретичні основи переробки відходів тваринництва на біопаливо розроблені у працях S.O. Petersen [1], де підкреслюється роль анаеробного зброджування у скороченні викидів CH₄. Важливий внесок у розуміння логістики відходів у малих містах, таких як Фарсьо, зробили дослідники Aarhus University [2], аналізуючи баланс між транспортуванням сировини та отриманою енергією. Сучасні підходи до оцінки життєвого циклу (LCA) систем утилізації представлені у роботах T. Fruergaard [3].

Система поводження з відходами у Фарсьо базується на інтегрованому підході, де первинною ланкою є збір гною та посліду безпосередньо на фермах за допомогою закритих систем. Це мінімізує первинну емісію аміаку (NH₃) ще на етапі накопичення сировини. Ключовим об'єктом інфраструктури є місцева біогазова станція (Farsø Biogas), яка приймає сировину від десятків фермерських господарств. Така концентрація дозволяє здійснювати жорсткий екологічний контроль, який неможливо забезпечити на рівні окремих дрібних ферм.

Анаеробне зброджування є основним методом утилізації (табл.1.). У реакторах великої потужності за температури термофільного режиму (50-55 °C) відбувається розкладання органіки. Це дозволяє не лише генерувати біометан, а й проводити гігієнізацію відходів, знищуючи патогенну мікрофлору та насіння бур'янів. Екологічна перевага цього методу полягає у заміні викопного палива на чисту енергію для опалення житлових будинків міста Фарсьо.

Таблиця 1.

Показник	Пряме внесення (традиційне)	Анаеробне зброджування (сучасне)	Термічна обробка (спалювання)
Викиди CH ₄	Високі	Мінімальні (вловлюються)	Відсутні
Ризик забруднення вод	Високий	Середній (контрольований)	Низький
Енергетична вигода	Відсутня	Висока (біогаз)	Середня (тепло)
Стан патогенів	Зберігаються	Знищуються (термофільний режим)	Стерилізація

Оцінка атмосферного впливу показує, що завдяки герметичності установок викиди запахів, які раніше були основною скаргою мешканців сільських районів, знизилися на 70-80%. Використання біофільтрів на вентиляційних системах станцій утилізації забезпечує очищення повітря від залишків сірководню та меркаптанів.

Важливим елементом є переробка дигестату - залишку після виробництва біогазу. У Фарсьо дигестат розділяється на рідку та тверду фракції. Рідка частина використовується як високоякісне добриво з

прогнозованим вмістом азоту, а тверда - часто піддається подальшій переробці або спалюванню для отримання теплової енергії. Це створює замкнений цикл поживних речовин (N, P, K). Екологічна безпека ґрунтів забезпечується через суворе дотримання норм внесення добрив. У Данії діє система електронних звітів, де кожен фермер у Фарсьо зобов'язаний декларувати кількість внесеного азоту.

Окрему категорію складають небезпечні відходи тваринництва - трупи тварин та специфічні субпродукти. У Данії цим займається спеціалізована компанія «Daka Denmark», яка має логістичні вузли в Північній Ютландії. Ці відходи не потрапляють у звичайні біогазові реактори, а піддаються високотемпературній обробці (стерилізації під тиском), що виключає ризик розповсюдження таких хвороб, як африканська чума свиней або пташиний грип.

Екологічна оцінка водних ресурсів у районі Фарсьо за останні 10 років фіксує стабілізацію та поступове зниження вмісту нітратів у поверхневих водах. Це прямий результат відмови від неконтрольного розливу гною на полях на користь використання стабілізованого дигестату з чітко розрахованою швидкістю поглинання рослинами.

Економічна складова екологізації процесу також є вагомим фактором. Завдяки системі "зелених" сертифікатів та субсидій на відновлювану енергію, підприємства з утилізації у Фарсьо є рентабельними. Це дозволяє постійно оновлювати технічний парк - використовувати вантажівки на біометані для перевезення відходів, що ще більше зменшує вуглецевий слід підприємства.

Узагальнюючи дані, можна стверджувати, що модель м. Фарсьо базується на "принципі запобігання". Замість боротьби з наслідками забруднення, данська система створює умови, за яких відходи тваринництва миттєво вилучаються з екосистеми та перетворюються на енергоносії. Високий рівень автоматизації та цифрового моніторингу робить цю систему однією з найбезпечніших у світі (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив модернізації системи утилізації на екологічні показники регіону (умовні одиниці)

Екологічний параметр	Стан до модернізації	Поточний стан (після впровадження біогазу)	Динаміка (%)
Викиди парникових газів (CO ₂ -екв)	1200	350	-71%
Індекс запахового навантаження	8,5	1,2	-86%
Рівень забруднення ґрунтових вод (NO ₃)	45 мг/л	18 мг/л	-60%

Висновок. Екологічна оцінка системи утилізації відходів у м. Фарсьо підтверджує високу ефективність данської моделі поводження з небезпечними відходами тваринництва. Завдяки інтеграції біогазових технологій та суворому державному нагляду, вдалося трансформувати потенційне джерело екологічної катастрофи в ресурс для сталого розвитку. Ключовим фактором успіху є використання термофільного анаеробного збродування, що забезпечує як енергетичну незалежність регіону, так і високий рівень біологічної безпеки.

Для України досвід Фарсьо є надзвичайно цінним у контексті післявоєнного відновлення аграрного сектору. Впровадження подібних локальних кластерів з утилізації відходів дозволить вирішити проблему забруднення малих річок та підземних горизонтів, одночасно забезпечуючи сільські громади дешевою тепловою та електричною енергією. Основним напрямом подальших досліджень має стати адаптація данських технологічних рішень до специфіки українського законодавства та структури тваринницьких господарств.

Список використаних джерел:

- Petersen, S. O. (2018). Greenhouse gas emissions from livestock manure management: A review of mitigation options. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Aarhus University Report (2022). Sustainable bioenergy production in North Denmark: A case study of Farsø and surroundings.
- Fruergaard, T., & Astrup, T. (2011). Optimal utilization of waste-to-energy in an integrated strategy for waste management. *Waste Management*.
- Danish EPA (2023). Statutory Order on the use of fertilizers and on plant cover.
- Hjorth, M., et al. (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Пацева І.Г., Герасимчук Л.О., Можарівська І.А. Вміст важких металів у зерні кукурудзи при умові вирощування на Поліссі України. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 136. С. 316-321. URL: http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/136_2024/part_2/42.pdf
- Пацева І.Г., Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Сікач Т.І., Івашкіна О.Л. Концентрація важких металів у фітомасі злакових культур. *Екологічні науки*. 2024. № 3(54). С. 91-94.
- Пацева І.Г., Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Сікач Т.І., Івашкіна О.Л. Концентрація важких металів у фітомасі злакових культур. *Екологічні науки*. 2024. № 3(54). С. 91-94.
- Демчук Л.І., Войналович І.М. Вплив екологічних ризиків на навколишнє середовище у Житомирській області. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2024. № 4 (497). С. 223-230.

Дума А.В., студент 4 курсу, групи ТЗНС-42
Науковий керівник: Кагукіна А.М., доктор філософії,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Актуальність проблеми якості атмосферного повітря в умовах сучасного розвитку суспільства зумовлена зростанням техногенного навантаження та його безпосереднім впливом на здоров'я населення і стан довкілля. Інтенсивна урбанізація, розвиток промисловості та транспортної інфраструктури призводять до накопичення забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери, що особливо відчутно в регіонах із високою щільністю населення. У цьому контексті Київська область є показовим прикладом території з підвищеним рівнем антропогенного впливу на повітряне середовище.

Атмосферне повітря Київської області зазнає значного впливу людської діяльності через стрімку урбанізацію та високу концентрацію промислових і транспортних об'єктів. Станом на 2021 рік сумарний обсяг викидів забруднювальних речовин досягав 197,2 тис. тонн, причому близько 70 % із них припадало на пересувні джерела. Серед стаціонарних джерел основним забруднювачем виступає енергетична галузь, зокрема Трипільська ТЕС, унаслідок чого понад 70 % промислових викидів зосереджено в Обухівському районі [1]. Ситуація критично загострюється під час надзвичайних подій. Навесні 2020 року масштабні пожежі в природних екосистемах спричинили різке підвищення рівня дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} у повітрі столиці - до 220 мкг/м³. Дані регулярного моніторингу також вказують на стабільне перевищення допустимих норм концентрації діоксиду азоту [2]. Зокрема, у серпні 2024 року в Білій Церкві цей показник перевищував норму у 2,9 раза, в Україні - у 2,3 раза, а в Броварах - у 2,2 раза. Дані за січень 2025 року підтверджують сталість тенденції з перевищеннями в межах від 1,6 до 2,2 раза. Оскільки вміст інших домішок переважно відповідає нормативам, саме NO₂ виступає головним індикатором техногенного тиску. Це підтверджує і супутниковий аналіз Sentinel-5P/TROPOMI, який фіксує постійний осередок забруднення над Київською агломерацією [3]. Екологічні загрози для населення мають довготривалий, хронічний характер. Вплив дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} і PM₁₀, а також діоксиду азоту спричиняє підвищення рівня захворюваності на хвороби дихальної та серцево-судинної систем, що становить особливу небезпеку для дітей, людей похилого віку та осіб із хронічними патологіями [4]. Окрім загрози здоров'ю, забруднення пригнічує екосистеми через заповнення рослинності, підкислення опадів та акумуляцію токсичних сполук у ґрунтах. Вихід із кризи потребує комплексних заходів. На стаціонарних джерелах необхідно впроваджувати системи пиловловлення, технології селективного каталітичного відновлення оксидів азоту та мокрої десульфуризації [5]. Паралельно варто оновлювати автопарк і розвивати електротранспорт для зменшення внеску мобільних джерел. На організаційному рівні необхідно розробити регіональний план управління якістю повітря та налагодити міжвідомчу координацію. Ключовим етапом є розбудова гібридної мережі моніторингу на основі референтних станцій і сенсорів, що регулярно калібруються. Реалізація зазначених заходів сприятиме поступовому зниженню рівня забруднення атмосферного повітря та мінімізації екологічних ризиків для населення. Впровадження сучасних підходів до моніторингу та відкритості екологічної інформації сприятиме підвищенню рівня екологічної свідомості суспільства.

Список використаних джерел:

1. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> (дата звернення: 10.04.2026).
2. Про стан забруднення атмосферного повітря у м. Києві і Київській області у листопаді 2024 року за даними спостережень ЦГО імені Бориса Срезневського. URL: <https://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/images/V%D0%86%D0%86-2024.pdf> (дата звернення: 10.04.2026).
3. Savenets M. V. Status of atmospheric air pollution in Ukraine prior to the full-scale russian invasion. Part 2: Pollutants total content according to the satellite data. *Ukrainian hydrometeorological journal*. 2023. № 32. С. 130-143.
4. 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.
5. Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng> (дата звернення: 10.04.2026).

**Забродський В.М., студент IV курсу, ЗТЗНС-23к
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища»,
Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ ДЛЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ У БУДІВНИЦТВІ

Актуальність дослідження. Проблема поводження з відходами руйнації та будівництва сьогодні набула глобальних масштабів, ставши одним із найсерйозніших викликів для екологічної безпеки та сталого розвитку територій. Стрімка урбанізація, реновація застарілого житлового фонду та інфраструктурних об'єктів призводять до щорічного утворення мільярдів тонн будівельного сміття у світі. Традиційний підхід, який полягає у вивезенні цих відходів на полігони та стихійні звалища, є абсолютно нежиттєздатним у довгостроковій перспективі. Він не лише призводить до безповоротного відчуження колосальних площ земельних ресурсів, але й спричиняє серйозне забруднення ґрунтів, підземних вод та атмосферного повітря токсичними фільтратами і дрібнодисперсним пилом. Відповідно, перехід від лінійної моделі «видобуток - використання - утилізація» до принципів циркулярної економіки є не просто екологічним трендом, а життєвою необхідністю.

Для України питання екологічної оцінки та розробки технологій переробки відходів руйнації набуло безпрецедентної гостроти та специфіки внаслідок масштабних руйнувань цивільної та промислової інфраструктури, спричинених військовими діями. Мільйони тонн бетону, цегли, металу та скла, що утворилися внаслідок знищення міст, перетворилися на екологічну бомбу сповільненої дії. Залишення цих залишків у вигляді стихійних звалищ загрожує санітарно-епідеміологічній ситуації в регіонах. Водночас масштаби майбутньої повоєнної відбудови вимагатимуть колосальних обсягів будівельних матеріалів. Задовольнити цю потребу виключно за рахунок видобутку нових природних ресурсів (піску, щебеню, глини) неможливо без завдання нищівного удару по екосистемах країни. Тому перетворення відходів руйнації на цінну вторинну сировину є ключовим стратегічним завданням для держави. Розробка та впровадження ефективної технології переробки будівельних відходів дозволяє вирішити одразу комплекс проблем: екологічну, економічну та ресурсну. Повторне використання вторинного щебеню, піску та арматури суттєво знижує вуглецевий слід будівництва, зменшуючи викиди парникових газів, пов'язані з видобутком і транспортуванням первинних матеріалів. Крім того, використання рециклінгових матеріалів здатне суттєво здешевити вартість зведення нових об'єктів та відновлення дорожнього покриття.

Аналіз літературних джерел. Дослідженню проблематики переробки будівельних відходів та їх екологічної оцінки присвячено значну кількість праць як вітчизняних, так і закордонних науковців. Теоретичні засади циркулярної економіки у будівництві та європейський досвід поводження з відходами руйнації детально розкриті у роботах європейських дослідників [1,2], які наголошують на необхідності запровадження жорсткого життєвого циклу матеріалів. Вітчизняні автори, зокрема О. Коваленко та В. Бойко [3], зосереджують увагу на морфологічному складі відходів, що утворюються під час демонтажу типових панельних та цегляних будівель, підкреслюючи високий потенціал їх повторного використання. Технологічні аспекти дроблення та сортування залізобетонного брухту розглядаються в інженерних розвідках М. Шевченка [4], де наведено порівняльний аналіз мобільних та стаціонарних сортувальних комплексів. Питання впливу вторинних заповнювачів на фізико-механічні властивості нового бетону є предметом дискусій у матеріалознавчих публікаціях [5], де доводиться, що за умови правильної фракціонізації та водопідготовки, вторинний щебінь може замінити до 30-50% природного без втрати конструкційної міцності.

Основний матеріал дослідження. Першочерговим етапом розробки технології переробки є глибокий аналіз морфологічного складу відходів руйнації. Будівельне сміття не є однорідним; це складна багатокомпонентна суміш. Найбільшу частку традиційно займають мінеральні матеріали: уламки бетону, залізобетону, силікатної та керамічної цегли, будівельного розчину. Окрім них, у масі присутні деревина, пластик (елементи вікон, труб), скло, чорні та кольорові метали, а також залишки теплоізоляційних матеріалів (мінеральна вата, пінополістирол). Розуміння цієї структури є критичним, оскільки наявність домішок, таких як гіпс або органіка, суттєво знижує якість кінцевої вторинної сировини та вимагає впровадження специфічних етапів сепарації.

Таблиця 1

Усереднений морфологічний склад відходів руйнації житлових будівель

Компонент відходів	Частка від загальної маси (%)	Потенціал повторного використання
Бетон та залізобетон	45 - 55	Високий (вторинний щебінь, пісок)
Цегла та кераміка	25 - 35	Середній (підсіпка доріг, ландшафт)
Деревина	5 - 8	Високий (паливні брикети, ДСП)
Метали (арматура, труби)	4 - 6	Дуже високий (переплавка)
Пластик, скло, гіпс, ізоляція	5 - 10	Складний (потребує глибокого сортування)

Екологічна оцінка традиційного методу захоронення таких відходів демонструє катастрофічні наслідки для довкілля. Полігони будівельного сміття є потужними джерелами емісії пилу (PM10 та PM2.5), який розноситься вітром на значні відстані, впливаючи на здоров'я населення. Крім того, під впливом атмосферних опадів з масиву відходів, особливо тих, що містять залишки лакофарбових матеріалів, азбесту та важких металів, утворюється високотоксичний фільтрат. Цей фільтрат здатен проникати у водоносні горизонти, роблячи підземні води непридатними для використання. Запропонована технологія переробки нівелює ці ризики, переводячи відходи зі статусу «забруднювача» у статус «ресурсу». Технологічний процес переробки відходів руйнації складається з кількох послідовних стадій: попереднього сортування, первинного дроблення, магнітної сепарації, вторинного дроблення та фракційного грохочення. На етапі попереднього сортування вилучаються великогабаритні немінеральні елементи: балки, великі шматки пластику, деревина. Далі матеріал подається у щокову або роторну дробарку, де відбувається його руйнування до прийнятних розмірів. Надзвичайно важливим етапом є магнітна сепарація, під час якої потужні електромагніти вилучають з потоку роздробленого бетону сталеву арматуру.

Головним продуктом переробки є вторинний щебінь та піщано-щебенева суміш. Переробка бетону дозволяє отримати заповнювач, який за своїми характеристиками дещо відрізняється від природного гранітного щебеню. Вторинний щебінь має на своїй поверхні залишки старого цементного каменю, що зумовлює його вищу пористість та, відповідно, більше водопоглинання. Це вимагає коригування рецептур нових бетонних сумішей, зокрема використання суперпластифікаторів для підтримки необхідної легкоукладальності без надмірного збільшення водоцементного відношення. Переробка цегляного бою вимагає окремого підходу. Через значно нижчу міцність та високе водопоглинання кераміки, вторинний цегляний щебінь рідко використовується для виготовлення відповідальних несучих залізобетонних конструкцій. Однак він є ідеальним матеріалом для влаштування основ під фундаменти малоповерхових будівель, створення дренажних шарів, підсіпки ґрунтових доріг та тротуарів, а також у ландшафтному дизайні. Використання подрібненої цегли у таких цілях повністю виправдовує витрати на її переробку та зберігає якісний природний камінь для більш вимогливих проєктів. Економічна ефективність запропонованої технології тісно переплетена з екологічною. Собівартість виробництва 1 тонни вторинного щебеню на місці руйнації, як правило, на 30-40% нижча за вартість закупівлі та доставки аналогічного обсягу природного матеріалу з кар'єру. Економія досягається за рахунок відсутності плати за утилізацію відходів на полігонах (яка в європейських країнах є надзвичайно високою), нульових витрат на видобуток корисної копалини та радикального скорочення транспортного плеча. Це створює потужні фінансові стимули для будівельних компаній інвестувати в рециклінг. Життєвий цикл розробленої технології демонструє суттєве зниження впливу на глобальне потепління. Заміщення природних заповнювачів вторинними зменшує викиди CO₂ на 15-25 кг на кожен тону матеріалу. Це пояснюється тим, що видобуток каменю в кар'єрах є вкрай енергоємним процесом. Переробка ж уже фрагментованих уламків будівель потребує значно менших енерговитрат.

Висновок. Проведена екологічна оцінка та розробка технології переробки відходів руйнації переконливо доводять, що рециклінг будівельного сміття є безальтернативним шляхом сталого розвитку сучасного містобудування. Відмова від традиційного захоронення відходів на полігонах на користь їх глибокої переробки дозволяє радикально зменшити техногенне навантаження на довкілля, запобігти забрудненню ґрунтів і вод, та знизити викиди парникових газів. Запропоновані технологічні рішення, зокрема використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів, демонструють високу економічну рентабельність та логістичну ефективність.

Список використаних джерел:

1. Ghisellini, P., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2018). Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. *Journal of Cleaner Production*, 178, 618-633.
2. Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201-217.
3. Коваленко, О. В., & Бойко, В. І. (2021). Екологічні аспекти поводження з будівельними відходами в Україні: проблеми та перспективи. *Вісник екологічної безпеки*, 12(3), 45-52.
4. Шевченко, М. О. (2022). Аналіз ефективності мобільних комплексів для переробки залізобетонного брухту в умовах щільної міської забудови. *Будівельні конструкції та технології*, 8(1), 112-119.
5. Міністерство розвитку громад та територій України. (2023). Методичні рекомендації щодо оцінки якості вторинної сировини з відходів руйнації для використання у дорожньому будівництві. Київ: Мінрегіон.
6. Уваєва О.І., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Сульженко М.Я., Нестерчук Ю.В. Екологічні ризики, пов'язані з будівельними відходами, що утворилися у зв'язку з військовою агресією Росії на території Житомирської області. *Екологічні науки*. 2024. Випуск 6 (57). С. 111-115. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.16>
7. Нонік Л.Ю., Пацева І.Г. Небезпечні компоненти відходів руйнації як виклик екологічній безпеці. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2025. № 3 (60). С. 168-172. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.31>
8. Нонік Л.Ю., Пацева І.Г., Пічкур Т.В. Розроблення стратегії управління відходами руйнації в умовах воєнного стану. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля №4*. 2023. с. 40-47.

**Заліський Р.О., студент IV курсу, групи ЗЕО-22,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD,
старший викладач кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»**

КЛІМАТИЧНІ ВИКЛИКИ ДЛЯ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА УКРАЇНИ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

Сучасні кліматичні зміни є одним із найважливіших глобальних викликів, що критично впливають на функціонування аграрного сектору. Україна, як держава з потужним аграрним потенціалом, є надзвичайно вразливою до змін кліматичних умов, режиму опадів та екстремальних погодних явищ. У зв'язку з цим виникає необхідність комплексного дослідження впливу кліматичних змін на розвиток сільського господарства та його екологічні умови.

Зміни клімату в Україні проявляються як поступове підвищення середньорічної температури повітря, нерівномірний розподіл опадів, частоті посухи, зливи та інші небезпечні метеорологічні явища. Такі тенденції мають значний вплив на агроєкосистеми, зокрема на врожайність сільськогосподарських культур, стан ґрунтів та водних ресурсів [1]. Виникнення посухи сприяє подовженню вегетаційного періоду та дефіциту вологи, особливо в південних і східних регіонах країни.

Одним із найважливіших наслідків кліматичних змін є деградація ґрунтів, яка набуває масштабнішого та комплексного характеру. Вона виявляється у посиленні ерозійних процесів, зниженні вмісту гумусу в ґрунті, порушенні структури ґрунтового профілю та загальному зниженні родючості.

Нерівномірний розподіл опадів, характерний для сучасних кліматичних умов, також впливає на інтенсивність деградації ґрунтів. Інтенсивні короточасні зливи спричиняють розвиток водної ерозії, яка призводить до змиву верхнього, найбільш родючого шару ґрунту. Це супроводжується втратою поживних елементів і погіршенням агрофізичних властивостей ґрунту [2].

Сукупний вплив зазначених факторів призводить до зниження продуктивності сільськогосподарських земель. Погіршення фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту обмежує доступ поживних речовин для культур, знижує ефективність використання добрив та погіршує водний режим.

Дослідження впливу кліматичних змін на аграрне виробництво потребує застосування комплексного підходу, що включає дослідження кліматичних даних, агроєкологічних показників та економічних параметрів. Використання сучасних методів, таких як геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі та моделювання агрокліматичних умов, дозволяє робити прогнози зміни продуктивності сільськогосподарських культур та оцінювати екологічні ризики [3].

З метою зменшення негативного впливу кліматичних змін на аграрне виробництво в Україні необхідно впроваджувати адаптивні заходи, спрямовані на підвищення стійкості та покращення агросистем. До них належать вирощування посухостійких сортів культур, оптимізація структури посівних площ, використання новітніх технологій, зокрема мінімізація обробітку ґрунту та удосконалення систем зрошення. Важливим є також розвиток органічного землеробства та екологічно безпечних технологій вирощування.

Таким чином, кліматичні зміни значно впливають на розвиток аграрного сектору України, створюючи нові виклики для забезпечення екологічної стійкості виробництва. Комплексне дослідження даних впливів та впровадження новітніх заходів є важливою умовою забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва, збереження природних ресурсів та продовольчої безпеки держави.

Список використаних джерел:

1. Романчук Л.Д., Голуб В.О., Кравчук-Ободзінська Т.В. Біотехнологічні підходи до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах кліматичних змін (на прикладі злакових культур). *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2025. Випуск 5(62). Том 2. С. 179-183. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.29>
2. Мельник-Шамрай В. В., Кравчук-Ободзінська Т. В., Алпатова О. М., Сікач Т. І. Біологічні індикатори деградації ґрунтів у контексті глобальних кліматичних змін. *Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України. Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 187-192. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.33.31>
3. Алпатова О.М., Кравчук-Ободзінська Т.В., Сікач Т.І. Вплив кліматичних умов і біотехнологій на виробництво екологічно безпечної харчової продукції на прикладі нішевих культур. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. № 145. С. 307-312. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.35>

УДК 630*4:502.131.1

**Іванюк Р.О., здобувач вищої освіти за освітньо-науковим ступенем
«доктор філософії» спеціальність 101 «Екологія»
Мельник-Шамрай В.В., к.с.-г.н., доц.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

РОЛЬ ШКІДНИКІВ І ХВОРОБ У ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Лісові екосистеми відіграють ключову роль у забезпеченні широкого спектра екосистемних послуг, які мають як екологічне, так і соціально-економічне значення. Зокрема, вони виконують важливі регулювальні функції, сприяючи стабілізації клімату через поглинання вуглекислого газу, підтримання гідрологічного режиму, очищення повітря та води, а також запобігання ерозійним процесам. Одночасно ліси забезпечують підтримання біорізноманіття, виступаючи середовищем існування для численних видів флори і фауни та підтримуючи природні біогеохімічні цикли. Важливим є і їхній внесок у забезпечувальні послуги, які включають постачання деревини, недеревної продукції (гриби, ягоди, лікарські рослини), біомаси та інших природних ресурсів. Крім того, лісові екосистеми мають значну культурно-рекреаційну цінність, оскільки створюють умови для відпочинку, туризму, естетичного та духовного збагачення людини. Усі ці функції у сукупності формують комплексний внесок лісів у добробут суспільства та є основою сталого природокористування і екологічної безпеки [1-3].

Лісові екосистеми постійно зазнають впливу комплексу екологічних чинників, які визначають їхню структуру, функціонування та рівень стійкості [4]. До таких чинників належать як абіотичні (кліматичні умови, ґрунтові характеристики, водний режим), так і біотичні складові, що формують складні взаємозв'язки між організмами у межах екосистеми. Водночас саме біотичні чинники часто виступають ключовими регуляторами стану лісів, оскільки вони безпосередньо впливають на життєздатність деревостанів та динаміку їх розвитку. Особливе місце серед них займають шкідники та збудники хвороб [5], які можуть спричинити масові ураження дерев, порушення фізіологічних процесів, зниження продуктивності насаджень і навіть їх загибель. У сучасних умовах кліматичних змін та антропогенного навантаження роль цих факторів зростає, що підсилює ризики дестабілізації лісових екосистем і зниження їх здатності забезпечувати екосистемні послуги [4]. Таким чином, врахування впливу біотичних чинників, зокрема шкідників і хвороб, є важливою складовою оцінки екологічного стану лісів і розроблення ефективних заходів їх управління.

З огляду на це, доцільним є узагальнення найбільш поширених видів шкідників і хвороб лісу та оцінка їхнього впливу на окремі типи екосистемних послуг, що дозволяє систематизувати їхню роль у процесах трансформації та деградації лісових екосистем (табл. 1).

Таблиця 1

Основні шкідники та хвороби лісів України

Група	Вид (приклад)	Основні породи-реципієнти	Характер ушкодження	Наслідки для екосистемних послуг
Комахи-шкідники	Короїд-типограф (<i>Ips typographus</i>)	Ялина	Руйнування камбію, всихання дерев	Зниження регулювання клімату, втрати біомаси
	Шовкопряд непарний (<i>Lymantria dispar</i>)	Дуб, граб	Об'їдання листя	Ослаблення фотосинтезу, рекреаційні втрати
	Сосновий пильщик (<i>Diprion pini</i>)	Сосна	Дефоліація	Падіння продуктивності
Хвороби грибного походження	Коренева губка (<i>Heterobasidion annosum</i>)	Хвойні	Гниль коренів	Зниження стійкості, вгледеві втрати
	Трутовики (<i>Fomes fomentarius</i>)	Листяні	Руйнування деревни	Зменшення деревних ресурсів
Інвазійні організми	Ясеневий смарагдовий вузькотілий златка (<i>Agrilus planipennis Fairmaire</i>)	Ясен	Масове всихання	Втрата біорізноманіття

Найбільшу загрозу для стабільності лісових екосистем та їх здатності забезпечувати екосистемні послуги становлять комахи-ксилофаги та грибні патогени, які спричиняють ослаблення і всихання деревостанів, порушення їхньої структури та зниження продуктивності. Особливо вразливими є монокультурні насадження, де через низьке біорізноманіття біотичні ушкодження швидко поширюються і

набувають масштабного характеру. Водночас поширення шкідників і хвороб зумовлене складною взаємодією кліматичних, екологічних та антропогенних чинників, синергічний вплив яких підвищує сприйнятливість лісових екосистем до біотичних загроз. У зв'язку з цим доцільно розглянути основні види шкідників і хвороб та їхній вплив на різні типи екосистемних послуг (табл. 2).

Таблиця 2

Основні фактори поширення біотичних загроз			
Група факторів	Конкретний чинник	Механізм впливу	Екосистемні наслідки
Кліматичні	Підвищення температури	Скорочення циклу розвитку шкідників	Зростання чисельності популяцій
	Посухи	Ослаблення дерев	Підвищена смертність
Антропогенні	Суцільні рубки	Фрагментація лісів	Порушення регуляторних послуг
	Переміщення деревини	Інтродукція інвазій	Нові осередки зараження
Біоекологічні	Одновікові насадження	Низька стійкість	Масове поширення шкідників

Активізація біотичних загроз є наслідком поєднання кліматичних змін і нераціонального лісокористування, що призводить до порушення природної стійкості лісових екосистем. Особливо небезпечним є вплив антропогенних чинників, зокрема спрощення породного складу насаджень, інтенсивна експлуатація лісових ресурсів та недостатній рівень лісогосподарських заходів, які сприяють ослабленню деревостанів і створюють сприятливі умови для масового розвитку шкідників та фітопатогенів. У результаті знижується адаптивний потенціал лісових екосистем, що підвищує їхню вразливість до зовнішніх стресових факторів і прискорює процеси деградації. Сучасні статистичні дані Державного агентства лісових ресурсів України [6] свідчать про збільшення масштабів ураження лісів шкідниками та хворобами, що відображає загальну тенденцію до погіршення санітарного стану лісових насаджень.

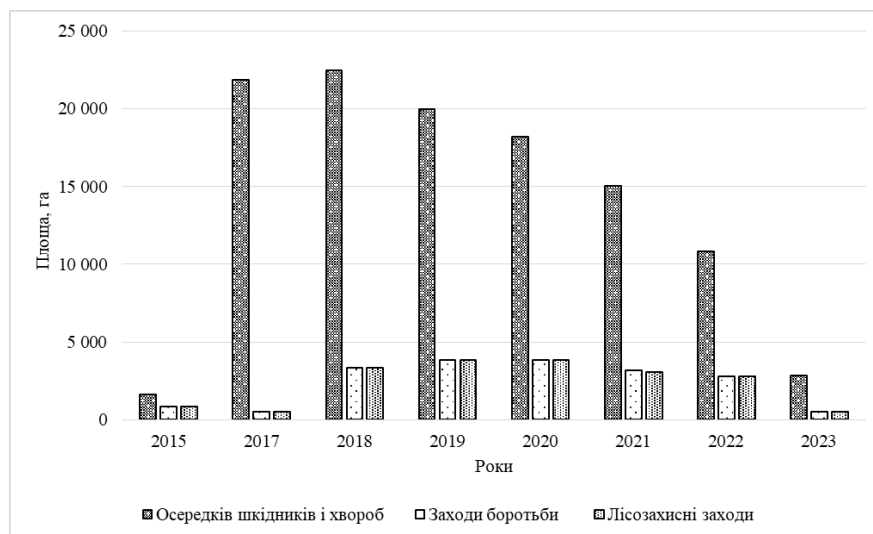


Рис. 1. Динаміка поширення шкідників і хвороб та заходів боротьби у лісах України

Динаміка показників свідчить, що площі осередків шкідників і хвороб різко зросли у 2017-2018 роках (понад 22 тис. га), після чого спостерігається поступове зниження до 2023 року. Водночас обсяги заходів боротьби та лісозахисних заходів зросли у 2018-2020 роках, що, ймовірно, сприяло подальшому скороченню уражених площ. У 2022-2023 роках відзначається значне зменшення як площ осередків, так і інтенсивності заходів, що може свідчити як про покращення ситуації, так і про зниження обсягів лісозахисної діяльності.

Відповідно до Публічного звіту Голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2025 рік [7], щорічно оприлюднюються узагальнені статистичні дані щодо санітарного стану лісів, які охоплюють показники площ всихання, кількість нових осередків шкідників і хвороб, обсяги їх ліквідації, а також залишкові площі уражень із розподілом за основними лісоутворюючими породами, зокрема сосною, дубом і ялиною. За оперативними даними [6] за перше півріччя 2025 року загальна площа всихання лісів становила 235,6 тис. га, з яких найбільша частка припадає на соснові насадження - 94,8 тис. га, дубові - 83,2 тис. га, ялинові - 7,6 тис. га, тоді як інші породи займають близько 50 тис. га. Крім того, у звітах наводиться інформація про площі, на яких здійснювалися санітарно-оздоровчі заходи, а також про обсяги

заготовленої деревини, отриманої в процесі боротьби зі шкідниками та хворобами лісу, що дозволяє комплексно оцінити масштаби біотичних пошкоджень і ефективність лісозахисних заходів.

Ефективний моніторинг шкідників і хвороб є основою своєчасного виявлення загроз та прийняття управлінських рішень, спрямованих на збереження екосистемних послуг лісів. В Україні застосовується комплекс підходів до обліку ушкоджень лісових насаджень, що включає як традиційні наземні спостереження, так і сучасні технології аналізу просторових даних. Водночас існуючі системи моніторингу мають низку обмежень, що впливають на оперативність і точність отриманої інформації. Основні методи моніторингу ушкоджень лісів, їхні характеристики, переваги та обмеження наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Системи моніторингу ушкоджень лісів в Україні

Метод моніторингу	Сутність	Переваги	Обмеження
Наземні обстеження	Польова оцінка стану насаджень	Висока точність, деталізація	Трудомісткість, обмежене охоплення
Фітосанітарна звітність	Регламентований облік стану лісів	Систематичність, узагальнення даних	Запізнення інформації
Дистанційне зондування	Аналіз супутникових знімків	Охоплення великих площ, оперативність	Обмежена точність
GIS-аналіз	Просторовий аналіз і прогнозування	Оцінка ризиків, інтеграція даних	Потреба у якісних даних
Дрони та сенсори	Автоматизований збір даних	Оперативність, висока деталізація	Висока вартість

Аналіз наведених підходів свідчить, що жоден із методів не є універсальним, а їх ефективність значною мірою залежить від умов застосування та доступності даних. Сучасна система моніторингу в Україні має фрагментарний характер, що зумовлює необхідність інтеграції традиційних і дистанційних методів спостереження. Розвиток комплексного моніторингу, який поєднує польові обстеження, аналітику звітних даних і технології дистанційного зондування, є ключовим для своєчасного виявлення біотичних загроз, зменшення втрат екосистемних послуг і підвищення стійкості лісових екосистем.

Моніторинг біотичних ушкоджень є ключовою передумовою збереження екосистемних послуг лісів, зокрема регульовальних, забезпечувальних і рекреаційних. Посилення впливу шкідників і хвороб, зумовлене кліматичними та антропогенними чинниками, призводить до зниження продуктивності лісів, погіршення їх захисних функцій і втрати біорізноманіття. Недосконалість існуючих систем обліку ускладнює своєчасне реагування на ці загрози. Тому інтеграція сучасних методів моніторингу є необхідною умовою зменшення втрат екосистемних послуг і підвищення стійкості лісових екосистем.

Список використаних джерел:

1. Мельник-Шамрай В.В., Блищик А.Ю. Роль лісових екосистем у забезпеченні екосистемних послуг. Сучасні виклики і актуальні проблеми лісівничої освіти, науки та виробництва: матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 18 квітня 2025 року. Біла Церква: БНАУ, 2025. С. 121-124.
2. Іванюк Р.О., Скоковський М.В, Дмитренко С.А., Мельник-Шамрай В.В. Екосистемні послуги лісових екосистем. Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених "Екологічна безпека та раціональне природокористування", 14 листопада 2024 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2024. С.38.
3. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Радучич А. В., Іваненко Р. В. Екосистемні послуги лісів філії «Словечанське лісове господарство» ДП «Ліси України». Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування». 2023. Вип. 3. С. 71-76. <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-3.09>
4. Мельник-Шамрай В.В., Іванюк Р.О. Вплив екологічних чинників на лісові екосистеми та забезпечення екосистемних послуг. Екологічні науки : науково-практичний журнал. 2026. № 64. С.161-167. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.1-64.23>
5. Хрик В. М., Ситник О. С., Кімейчук І. В., Лозінська Т. П., Масальський В. П. Forecasting the development of pathogens and pests based on climate changes. Forestry and Forest Melioration. 2024. Вип. 145. С. 134-142. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.134>
6. Захист лісів від шкідників та хвороб. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/zahist-lisiv-vid-shkidnikov-ta-hvorob> (дата звернення: 25.04.2026 р.).
7. Публічний звіт голови державного агентства лісових ресурсів України за 2025 рік. URL: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/uploaded-files/publicnii-zvit-golovi-2025.pdf> (дата звернення: 25.04.2026 р.).

УДК 628.4

Калінін Д.Ю., студент IV курсу групи ЕО-42, факультету гірничої справи,
природокористування та будівництва,
Науковий керівник: Войналович І.М., асистент кафедри екології та
природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РОЗДІЛЬНОГО ЗБИРАННЯ ТПВ У МІСЬКИХ ГРОМАДАХ

Проблема поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) є однією з ключових екологічних проблем урбанізованих територій України. Її загострення зумовлене постійним зростанням обсягів утворення відходів, високим рівнем їх захоронення, обмеженими можливостями полігонів, а також значним негативним впливом на компоненти довкілля - ґрунти, поверхневі та підземні води, атмосферне повітря.

Для Житомирської міської територіальної громади дана проблема є особливо актуальною з огляду на урбанізаційні процеси, збільшення споживання ресурсів та утворення відходів, а також необхідність приведення системи управління відходами у відповідність до вимог європейського законодавства. В умовах реалізації положень рамкової директиви ЄС про відходи та переходу до принципів циркулярної економіки ключового значення набуває впровадження ефективної системи роздільного збирання ТПВ.

Метою роботи є аналіз сучасного стану та оцінка ефективності системи роздільного збирання ТПВ у Житомирській міській територіальній громаді з визначенням основних проблем та перспектив її розвитку.

Основні результати дослідження

1. Стан системи роздільного збирання ТПВ у Житомирі

Аналіз показав, що у Житомирській громаді сформовано окремі елементи системи роздільного збирання відходів, які свідчать про поступовий перехід до сучасної моделі управління відходами. Зокрема, на території громади:

- встановлено контейнери для окремих фракцій відходів (пластик, скло, папір);
- функціонують комунальні та приватні підприємства, що здійснюють вивезення ТПВ;
- діють пункти прийому вторинної сировини;
- реалізуються окремі інформаційно-просвітницькі ініціативи.

Водночас система має фрагментарний характер і не охоплює всю територію громади. Просторовий аналіз показує нерівномірність розміщення контейнерів та обмежену доступність інфраструктури для населення окремих районів, що знижує ефективність роздільного збору.

2. Оцінка ефективності системи

Оцінка ефективності системи роздільного збирання ТПВ проводилась за сукупністю екологічних, організаційних та соціально-економічних показників.

Встановлено, що:

- рівень охоплення населення роздільним збиранням залишається недостатнім і не перевищує середніх показників по великих містах України;
- частка відсортованих відходів становить орієнтовно 10-15%, що значно нижче європейських стандартів;
- більшість відходів продовжує надходити на полігони без попереднього сортування;
- спостерігається порушення технологічних ланцюгів, зокрема змішування відсортованих відходів під час транспортування;
- рівень залучення населення до процесів сортування залишається низьким.

Таким чином, ефективність системи можна оцінити як **обмежену**, що не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал повторного використання ресурсів та зменшення навантаження на довкілля.

3. Основні проблеми функціонування системи

У ході дослідження встановлено, що низька ефективність системи роздільного збирання ТПВ зумовлена комплексом взаємопов'язаних факторів.

Інфраструктурні проблеми:

- недостатня кількість контейнерів та їх нерівномірне розміщення;
- обмежена кількість сортувальних та переробних потужностей;
- відсутність сучасних комплексів глибокого сортування.

Організаційні проблеми:

- відсутність інтегрованої системи управління відходами на рівні громади;
- недосконалість логістичних схем збору та транспортування;
- недостатня координація між суб'єктами господарювання.

Економічні проблеми:

- обмежене фінансування розвитку інфраструктури;
- відсутність ефективних економічних стимулів для населення та бізнесу;
- низька рентабельність операцій із вторинною сировиною.

Соціальні проблеми:

- низький рівень екологічної культури населення;
- відсутність системної інформаційної та освітньої роботи;
- слабка мотивація до участі у роздільному збиранні.

Інституційні проблеми:

- недосконалість нормативно-правового забезпечення на місцевому рівні;
- недостатній контроль за дотриманням правил поводження з відходами.

Напрями підвищення ефективності системи

Для підвищення ефективності системи роздільного збирання ТПВ у Житомирській громаді доцільно реалізувати комплекс заходів:

інфраструктурні: розширення мережі контейнерів, створення сучасних сортувальних комплексів, розвиток переробних підприємств;

економічні: впровадження диференційованих тарифів («плати за те, що викидаєш»), депозитно-заставних систем, стимулювання бізнесу;

організаційні: оптимізація логістики збору відходів із використанням GIS-технологій, цифровий моніторинг потоків відходів;

соціальні: підвищення екологічної свідомості населення через освітні програми, інформаційні кампанії, залучення громадськості;

інституційні: удосконалення місцевих програм управління відходами та посилення контролю за їх виконанням.

Особливого значення набуває інтеграція принципів циркулярної економіки, що передбачає максимальне повторне використання ресурсів та мінімізацію утворення відходів.

У Житомирській громаді поводження з ТПВ забезпечується, зокрема, комунальним підприємством КП «Автотранспортне підприємство 0628» Житомирської міської ради, яке здійснює збирання, транспортування та частково оброблення відходів. Основним місцем захоронення ТПВ є Житомирський міський полігон твердих побутових відходів, розташований поблизу міста, який експлуатується протягом тривалого часу та має обмежений ресурс.

За наявними оцінками, у Житомирській громаді щорічно утворюється близько 90-110 тис. тонн ТПВ, що відповідає середньому показнику 0,9-1,1 кг відходів на особу на добу. При цьому переважна частина відходів (понад 85-90%) підлягає захороненню на полігоні без попереднього сортування, що призводить до його перевантаження та погіршення екологічного стану території.

В умовах євроінтеграції та переходу до циркулярної економіки ключового значення набуває розвиток системи роздільного збирання ТПВ як базового елементу ефективного управління відходами.

Таким чином, система роздільного збирання ТПВ у Житомирській міській територіальній громаді перебуває на стадії розвитку та характеризується недостатнім рівнем ефективності. Основними бар'єрами є інфраструктурні обмеження, недосконалість організаційних механізмів, відсутність економічних стимулів та низький рівень екологічної культури населення.

Підвищення ефективності можливе лише за умови впровадження комплексного, інтегрованого підходу до управління відходами, що поєднує розвиток інфраструктури, цифровізацію процесів, економічні механізми стимулювання та активну участь населення. Це дозволить зменшити обсяги захоронення відходів, підвищити рівень їх переробки та забезпечити екологічну безпеку території громади.

Список використаних джерел:

1. Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Romanchuk L. D. Risk assessment of drinking water from decentralized sources in rural areas of Ukraine. *Ekológia (Bratislava)*. 2022. Vol. 41(2). P. 123-131.
2. Valerko R. A., Herasymchuk L. O. GIS-based assessment of environmental risks for population from drinking water consumption. *Ekológia (Bratislava)*. 2024. Vol. 43(1). P. 45-54.
3. Herasymchuk L. O., Valerko R. A. Integral assessment of drinking water quality as a factor of environmental safety. *Вісник Житомирської політехніки*. 2021. № 2(96). С. 45-52.
4. Valerko R. A., Romanchuk L. D. Methodological approaches to environmental risk assessment in Ukraine. *Екологічні науки*. 2020. № 3(30). С. 112-118.
5. Herasymchuk L. O. Assessment of nitrate pollution risks in drinking water. *Наукові горизонти*. 2020. № 5. С. 67-74.
6. Закон України «Про управління відходами». № 2320-IX від 20.06.2022.
7. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року.
8. Житомирська міська рада. Програма поводження з твердими побутовими відходами у Житомирській міській територіальній громаді (чинна редакція).

УДК 332.3:502.131.1(477.42)

Кір'ян Д.В., студент 4-го курсу¹
Грибовська К.Л., студентка 4-го курсу²
Науковий керівник: Герасимчук Л.О., к.с.-г.н., доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
¹Поліський національний університет
²Державний університет «Житомирська політехніка»

SWOT-АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ РЕГІОНУ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Сучасне використання земельних ресурсів характеризується зростанням антропогенного навантаження, змінами структури землекористування та посиленням екологічних проблем. Глобальні процеси урбанізації, кліматичних змін і демографічного тиску зумовлюють скорочення сільськогосподарських угідь, деградацію ґрунтів і фрагментацію ландшафтів, що потребує нових підходів до управління [1-6]. Для України, зокрема Житомирської області, ця проблема є особливо актуальною в умовах економічних трансформацій, децентралізації та впливу воєнних дій [7]. Незважаючи на значний природно-ресурсний потенціал, ефективність використання земель залишається недостатньою через деградацію ґрунтів, нераціональну структуру землекористування та низький рівень інновацій. Додатковим викликом є взаємозв'язок кліматичних змін і трансформації землекористування, що впливає на водні ресурси та агропромисловість [8-10], і зумовлює необхідність інтегрованого підходу до оцінки земельних ресурсів. Недостатньо розробленими залишаються питання застосування стратегічних інструментів аналізу на регіональному рівні, що обумовлює необхідність комплексного дослідження використання земельних ресурсів для обґрунтування ефективних управлінських рішень і стратегій сталого розвитку.

Мета дослідження полягає у комплексній оцінці сучасного стану використання земельних ресурсів Житомирської області та обґрунтуванні перспектив їх використання на основі SWOT-аналізу.

Сучасний стан використання земельних ресурсів Житомирської області формується під впливом природно-ресурсного потенціалу, соціально-економічних трансформацій та новітніх викликів, пов'язаних із кліматичними змінами і воєнними діями. Регіон характеризується значною часткою сільськогосподарських угідь, лісових масивів і територій природоохоронного значення, що визначає його важливу роль у забезпеченні продовольчої та екологічної безпеки.

Аналіз структури землекористування свідчить, що домінуючими є сільськогосподарські землі, проте їх використання не завжди є ефективним і екологічно збалансованим. Спостерігається тенденція до зменшення родючості ґрунтів, зростання площ деградованих земель, а також порушення оптимального співвідношення між ріллею, луками, пасовищами та лісами. Особливо гостро ці проблеми проявляються в умовах інтенсивного агропромисловства та недостатнього дотримання принципів сталого землекористування.

Важливим фактором, що впливає на використання земельних ресурсів, є кліматичні зміни. Зростання середньорічних температур, нерівномірність опадів та збільшення частоти екстремальних погодних явищ призводять до зниження продуктивності агроєкосистем, посилення процесів ерозії та деградації ґрунтів. У свою чергу, зміни у структурі землекористування впливають на водний баланс територій, спричиняючи як дефіцит водних ресурсів, так і локальні підтоплення.

Проведений SWOT-аналіз використання земельних ресурсів регіону дозволив виявити ключові внутрішні та зовнішні чинники розвитку.

До сильних сторін (S - Strengths) належать: потужний природно-ресурсний потенціал; сприятливе географічне положення; розвинений аграрний сектор; високий лісоресурсний потенціал; наявність земельного кадастру та базових систем обліку; потенціал для розвитку органічного землеробства.

Серед слабких сторін (W - Weaknesses) виокремлені: деградація земельних ресурсів; нераціональна структура землекористування; низький рівень впровадження інновацій; фрагментація земель та проблеми з управлінням; недостатнє фінансування та інвестиції; екологічні проблеми; кадрові та демографічні проблеми.

Можливостями (O - Opportunities) є: післявоєнне відновлення територій; впровадження інноваційних технологій; розвиток органічного та сталого землеробства; інтеграція до європейської політики управління ресурсами; розвиток екосистемних послуг; цифрова трансформація управління земельними ресурсами; диверсифікація використання земель.

Загрозами (T - Threats) є: кліматичні зміни; військові ризики; подальша деградація земель; економічна нестабільність (коливання цін на аграрну продукцію, зниження інвестиційної активності); інституційні ризики; дефіцит водних ресурсів; соціальні ризики.

Результати проведеного SWOT-аналізу використання земельних ресурсів Житомирської області дозволяють не лише ідентифікувати ключові сильні та слабкі сторони, можливості й загрози, але й

сформувати основу для розробки ефективних управлінських рішень. Сам по собі SWOT-аналіз має діагностичний характер, тому його практична цінність значно зростає при переході до етапу формування стратегічних комбінацій. Стратегічні комбінації SWOT (TOWS-матриця) є інструментом інтеграції внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на систему землекористування, та дозволяють визначити найбільш доцільні напрями розвитку регіону. Вони базуються на поєднанні сильних сторін із можливостями (SO-стратегії), подоланні слабких сторін через використання можливостей (WO-стратегії), застосуванні сильних сторін для нейтралізації загроз (ST-стратегії) та мінімізації слабких сторін із метою уникнення загроз (WT-стратегії).

SO-стратегії включають: розвиток органічного землеробства; використання лісових ресурсів для екосистемних послуг і карбонових проєктів; залучення інвестицій через вигідне географічне положення. До WO-стратегій належать: цифрові технології для подолання неефективного управління; залучення міжнародних програм для відновлення деградованих земель; підвищення кваліфікації кадрів (освітні та грантові програми). Серед ST-стратегій варто виділити: використання лісів для адаптації до кліматичних змін; диверсифікація землекористування для зменшення ризиків деградації; підтримка аграрного сектору як стабілізуючого економічного фактора. WT-стратегії охоплюють: посилення державного контролю за використанням земель; рекультивация та консервація деградованих територій; розробка антикризових стратегій управління земельними ресурсами.

Наведене свідчить про необхідність переходу до інтегрованого управління земельними ресурсами, яке передбачає узгодження економічних інтересів із екологічними обмеженнями та соціальними потребами, що забезпечить довгострокову екологічну безпеку регіону.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що ефективне використання земельних ресурсів Житомирської області можливе лише за умов комплексного підходу, що поєднує стратегічний аналіз, сучасні технології управління та врахування екологічних обмежень. Запропоновані підходи та рекомендації можуть бути використані органами державної влади, місцевого самоврядування та суб'єктами господарювання для формування ефективної політики землекористування та забезпечення сталого розвитку регіону.

Список використаних джерел:

1. Biswas G., Sengupta A. Assessment of agricultural prospects in relation to land use change and population pressure on a spatiotemporal framework. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. № 29 (28). P. 43267-43286. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17956-8>.
2. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А. Інтегральний показник екологічного стану міста Житомир як основа для встановлення тенденцій його розвитку. *Innovations in the Education of the Future: Integration of Humanities, Technical and Natural Sciences* : International collective monograph, FIT CTU in Prague. 2023. С. 160-181. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10259058>.
3. Valerko R., Herasymchuk L., Kratiuk O. Geographic Information Systems for Water Quality Modeling in the Zhytomyr District Communities. *Ekológia (Bratislava)*. 2024. № 43 (1). P. 99-111. DOI: <https://doi.org/10.2478/eko-2024-0010>.
4. Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Валерко Р.А., Малиновська В.В., Луньова О.В. Державний нагляд за дотриманням вимог природоохоронного законодавства на території Житомирської та Рівненської областей. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). С. 146-150. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.27>.
5. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Члек О.М., Миколайчук О.В., Муляр А.П. Фінансове забезпечення сфери охорони навколишнього природного середовища в Житомирській області. *Екологічні науки*. 2023. №. 4(49). С. 153-158. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.20>.
6. Herasymchuk L. Ринок органічної продукції в Україні та ЄС. Управління органічним виробництвом (Organic Production Management), episode 6, Zhytomyr Polytechnic State University et al., 2025. DOI: <https://doi.org/10.5446/65562>.
7. Herasymchuk L., Patseva I., Valerko R., Ustylenko V. Military actions in Ukraine as ecocide and challenge to Formulas of peace. *Present Environment and Sustainable Development*. 2024. № 18(2). P. 275-293. DOI: <https://doi.org/10.47743/pesd2024182015>.
8. Chawanda C.J., Nkwasa A., Thiery W., Van Griensven A. Combined impacts of climate and land-use change on future water resources in Africa. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2024. № 28(1). P. 117-138. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-28-117-2024>.
9. Герасимчук Л., Валерко Р., Розгон В., Малиновська В. Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. №3. С. 49-58. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcs-2023-3-7>.
10. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Пацева І.Г. Прояв зміни температури повітря на території м. Житомир. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Екологія»*. 2023. № 29. С.6-16. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01>.

**Ключевич М.М., д.с.-г.н., проф.,
завідувач кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів
Вигера С.М., к.с.-г.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»
Венгер О.В., к.с.-г.н.,
завідувач відділу захисту рослин
ІСГ Полісся НААН**

ПРИРОДООХОРОННІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ФІТОТЕХНОЛОГІЙ В АГРОНОМІЇ

На сучасному етапі розвитку аграрної науки та виробництва особливої актуальності набуває переосмислення підходів до формування й функціонування сталих екосистем фітоценозів в Україні. Рослинний світ виступає базовим продуцентом органічної речовини, забезпечує перебіг життєво важливих біологічних процесів, формує кисневий баланс атмосфери та створює основу продовольчої безпеки суспільства. Саме тому питання збереження, відтворення та раціонального використання рослинних ресурсів мають стратегічне значення в умовах сучасних глобальних викликів, серед яких особливе місце займають продовольча нестабільність, зміна клімату, військові конфлікти, деградація довкілля та зменшення біорізноманіття [1, 2].

Проведені наукові узагальнення свідчать, що ефективне вирішення зазначених проблем потребує розроблення нової інноваційної методології формування сталих фітоценозів на засадах класичної фітопродуцентології, сучасної екології та цифровізації аграрного сектору. Важливим є впровадження технологій, які базуються на поєднанні економічного аналізу, експертних систем, технічного сервісу та інформаційно-комунікаційних рішень. Не менш суттєвим залишається дотримання природоохоронних принципів у процесі господарської діяльності людини та гармонізація взаємодії між суспільством і природним середовищем [3-5].

Без використання сучасного технічного сервісу сьогодні неможливо забезпечити збалансований розвиток аграрного виробництва, підвищення його продуктивності та екологічної безпеки. Технічні засоби стали невід'ємною складовою системи управління природними ресурсами, оскільки дозволяють оперативно отримувати інформацію про стан агроекосистем, прогнозувати ризики та приймати обґрунтовані рішення. Саме тому впродовж останніх років наукові дослідження спрямовані на пошук шляхів інтеграції цифрових інструментів у сферу рослинництва та охорони довкілля.

Згідно із сучасним науковим баченням усі фітоценози доцільно поділяти на три основні групи:

- природні (натуральні) фітоценози;
- хомонатуральні (культурно-натуральні та урболандшафтні) фітоценози;
- культурні фітоценози (агрофітоценози).

Кожна із зазначених груп має власні особливості функціонування, рівень антропогенного навантаження та потребує індивідуальних підходів до моніторингу й управління. Особливо це стосується агрофітоценозів, де інтенсивність господарського використання зумовлює підвищену потребу в контролі за екологічним станом територій, родючістю ґрунтів, фітосанітарною ситуацією та рівнем урожайності.

В умовах сталого розвитку природних, хомонатуральних і культурних екосистем, зокрема в межах сільських, міських, промислових та рекреаційних територій, постає нагальна необхідність створення інноваційних технологій моніторингу та управління рослинними угрупованнями. Такі рішення мають враховувати як екологічні, так і економічні аспекти, забезпечуючи ефективне використання ресурсів і збереження природного середовища. Особливої актуальності набувають системи спостереження, здатні здійснювати контроль не лише за фітоценозами загалом, а й за окремими рослинами, їх фізіологічним станом, пошкодженням та продуктивністю.

Саме тому поряд із традиційними методами досліджень запропоновано інноваційний метод технічного зору. Його застосування відкриває нові можливості для високоточного моніторингу стану рослинних угруповань, окремих видів рослин та супутніх організмів. Метод дозволяє своєчасно виявляти як економічно шкідливі організми, так і корисні компоненти біоти, що мають важливе значення для підтримання екологічної рівноваги агроценозів [3-6].

На зазначений метод технічного зору отримано відповідний патент, що підтверджує його наукову новизну та практичну цінність. Основою технології є спеціалізований пристрій, до складу якого входить приймальна система технічного зору: кольорова цифрова відеокамера, комп'ютерне обладнання, джерело спалахового освітлення та екран із світловідбивного матеріалу. На фоні такого екрану здійснюється фіксація біорізноманіття певної екосистеми з подальшим аналізом отриманих даних за допомогою програмного забезпечення.

Застосування технічного зору сприятиме оперативному виявленню змін у структурі фітоценозів, ранньому діагностуванню пошкоджень рослин, прогнозуванню розвитку шкідливих організмів і підвищенню ефективності управлінських рішень.

У процесі роботи система сканує зміни, що відбуваються у визначеному просторі, накопичує візуальну інформацію та формує цифрову базу даних для подальшої обробки. Використання математичних моделей і алгоритмів штучного аналізу зображень дає змогу ідентифікувати об'єкти, оцінювати їх стан, порівнювати динаміку змін та прогнозувати розвиток ситуації. У ряді випадків замість стаціонарних відеокамер можуть застосовуватись фотоапарати, смартфони, мобільні телефони та інші цифрові пристрої, що значно розширює сферу використання технології.

Запропонований спосіб моніторингу є особливо цінним для отримання оперативних даних щодо стану фітоценозів, структури біоти та поширення шкідливих організмів. Приймальна система дозволяє з високою точністю та швидкістю формувати кольорові зображення екосистем із рослинами та іншими компонентами живої природи. Це створює передумови для своєчасного прийняття управлінських рішень у системі захисту рослин, агрохімічного забезпечення та природоохоронного контролю.

Залежно від технічного оснащення прилади технічного зору можуть працювати не лише наземним способом, але й із використанням повітряних платформ. Особливо перспективним є застосування пілотованих та безпілотних літальних апаратів, які забезпечують швидке обстеження значних територій. У сучасних умовах це набуває додаткового значення, зокрема за обмеженого доступу до окремих земельних масивів або в умовах підвищених ризиків.

В аграрному секторі використання технічного зору поєднується з розвитком сучасного машинно-тракторного парку, цифрових систем навігації та автоматизованого управління польовими процесами. Новітні трактори, комбайни, самохідні агрегати та безпілотні системи можуть оснащуватись додатковими сенсорами, камерами й програмними комплексами для реалізації прецизійних фітотехнологій. Це дозволяє застосовувати методи точного землеробства, здійснювати навігацію рухомих об'єктів, контролювати технологічні операції та підвищувати ресурсоефективність виробництва.

Не менш важливим напрямом є технології реєстрації стану ґрунтового покриття. За допомогою сучасних сенсорів можливо визначати вологість, щільність, кислотність, структуру ґрунту, агрохімічні показники та інші параметри родючості. Поєднання цих даних із результатами візуального моніторингу посівів формує комплексну інформаційну систему, що забезпечує оптимізацію норм висіву, удобрення, зрошення та захисту рослин.

Використання методу технічного зору також сприяє обліку врожайності культурних фітоценозів, оцінці рівномірності розвитку посівів і визначенню зон неоднорідності в межах поля. Це дає можливість адресного управління агротехнологічними заходами та зменшення надмірного антропогенного навантаження на довкілля. Завдяки цьому прецизійні фітотехнології виступають не лише інструментом підвищення економічної ефективності, а й важливим елементом природоохоронної стратегії сучасного агровиробництва.

Отже, застосування прецизійних фітотехнологій в агрономії є одним із найперспективніших напрямів поєднання продуктивного землеробства з екологічною відповідальністю. Інтеграція технічного зору, цифрового моніторингу, безпілотних систем і сучасного технічного сервісу створює умови для сталого розвитку аграрного сектору, збереження природних ресурсів і підвищення продовольчої безпеки держави.

Список використаних джерел:

1. Вигера С. М. Природоохоронний контроль культурних фітоценозів: монографія. К.: ЦП "Компринт", 2015. 398 с.

2. Прецизійні фітотехнології в агропромисловому комплексі України / Л. В. Аніскевич, Д. Г. Войтюк, С. М. Вигера, Н. І. Адамчук, Ф. М. Захарін, С. О. Пономаренко, М. М. Ключевич : монографія. Київ : НУБіП України. 2019. 798 с.

3. Ключевич М. М., Осовець Ю. В. Вплив сівозмінного фактора та систем удобрення на розвиток хвороб жита озимого в умовах Полісся. Вісник ПДАА. 2010. № 4. С. 70-74.

4. Вигера С. М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Обґрунтування новітньої методології забезпечення здоров'я фітоценозів. Moderní aspekty vědy: XLVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. P. 166-175.

5. Вигера С.М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Інновації в освітньому процесі щодо сталого розвитку фітоценозів Поліського краю. Тези Міжнародної наукової інтернет-конференції ІСГП НААН "Теоретичні та практичні аспекти розвитку хмелярської науки», присвячена 100-річчю створення Волинської дослідної станції хмелярства, 10 липня 2024 року. Житомир: ІСГП НААН, 2024. С. 42-44.

6. Ключевич М. М., Вигера С. М., Можарівська І. А., Ковальчук Р. Л. Теоретичні аспекти інноваційного світогляду щодо наук про царство рослин. Moderní aspekty vědy: LIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025. P. 184-194. DOI - <https://doi.org/10.52058/53-2025>

**Ключевич М.М., д.с.-г.н., проф.,
завідувач кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів,
Горецький М.А., студент 1-го курсу,
групи АГР-2, спеціальність Н1 «Агрономія»
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ПРИРОДООХОРОННИЙ ПОТЕНЦІАЛ СПЕЛЬТИ (*TRITICUM SPELTA* L.) У СУЧАСНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Сучасна аграрна наука дедалі активніше звертається до проблеми збереження природних ресурсів та відновлення деградованих агроєкосистем. В умовах глобальних змін клімату, виснаження ґрунтового покриву і скорочення біорізноманіття особливої актуальності набуває пошук сільськогосподарських культур, здатних органічно поєднуватись із природоохоронними технологіями виробництва. Серед таких культур вагоме місце посідає спельта (*Triticum spelta* L.) - давній вид пшениці, що впевнено повертається до наукового й практичного обігу завдяки своїм унікальним екологічним та біологічним характеристикам [1].

Спельта є гексаплоїдним видом пшениці ($2n = 42$), що сформувався близько 5 тис. років тому внаслідок природної гібридизації *Triticum dicoccum* та *Aegilops tauschii* у регіоні Родючого Півмісяця. На території України вона відома з часів Трипільської культури і тривалий час вирощувалась у Карпатах під назвою «оркиш». Біологічні властивості культури зумовлюють знижену потребу в азотному живленні (на 20-40 % менше порівняно з сучасними сортами м'якої пшениці), що мінімізує ризики нітратного забруднення. Плівчаста структура зерна виконує захисну функцію проти патогенів, зокрема збудників фузаріозу, що дозволяє суттєво обмежити або виключити застосування синтетичних засобів захисту. Це робить спельту придатною для органічного виробництва та систем інтегрованого землеробства, що пояснює відновлення її поширення в умовах сучасної екологізації аграрного сектору [2-4].

Ключовою екологічною перевагою спельти є її морфологічна ознака - щільні плівки, які прилягають до зернівки та виконують функцію природного захисту. Вони ефективно оберігають зародок і молоді рослини від патогенів, шкідників і пригнічення бур'янами на початкових етапах розвитку. На відміну від сучасної м'якої пшениці, спельта має генетично зумовлену стійкість до широкого спектра збудників хвороб; зокрема, за даними дослідження Purahong et al. (2021), вона характеризується підвищеною резистентністю до фузаріозу колоса. Такі природні механізми захисту дають змогу істотно зменшити або повністю виключити використання синтетичних фунгіцидів. Додатково культура здатна ефективно засвоювати поживні речовини навіть на малородючих ґрунтах, при цьому їй потреба в азоті на 20-40 % нижча, ніж у інтенсивних сортів пшениці, що знижує ризик нітратного забруднення вод. Також спельта відзначається меншою здатністю накопичувати важкі метали, зокрема кадмій і свинець, що підвищує її екологічну безпечність.

Додатковою перевагою спельти є її висока адаптивність до стресових чинників довкілля, що набуває особливого значення в умовах кліматичної нестабільності. Культура характеризується підвищеною посухостійкістю, здатністю переносити короткочасні зниження температури та меншою чутливістю до різких коливань погодних умов упродовж вегетації. Завдяки потужній кореневій системі рослини ефективніше використовують запаси ґрунтової вологи та поживних речовин із глибших горизонтів ґрунту. Це забезпечує більш стабільне формування врожаю навіть на малопродуктивних землях, схильних до деградації чи ерозійних процесів. У зв'язку з цим спельта розглядається як перспективна культура для використання у регіонах ризикованого землеробства, зокрема в умовах Полісся та Лісостепу України.

Не менш важливим є продовольчий і соціальний аспект поширення спельти. Зерно культури відзначається високим вмістом білка, незамінних амінокислот, клітковини, вітамінів групи В, магнію, цинку та антиоксидантних сполук, що зумовлює зростання попиту на продукти функціонального харчування. Використання спельти у виробництві круп, борошна, хлібобулочних та дієтичних виробів сприяє диверсифікації аграрного ринку й розширенню сегмента нішевої продукції з високою доданою вартістю. Для малих і середніх фермерських господарств вирощування цієї культури може стати ефективним напрямом розвитку, орієнтованим на локальні переробні ланцюги та експорт органічної продукції. Отже, спельта поєднує екологічні, господарські та харчові переваги, що робить її важливим елементом сучасного сталого агровиробництва.

Вирощування спельти органічно поєднується із системами ґрунтозахисного та органічного землеробства, зокрема в сівозмінах після бобових і багаторічних трав, де використовується біологічно фіксований азот без необхідності внесення мінеральних добрив. Поєднання з технологіями мінімального або нульового обробітку ґрунту забезпечує зниження ерозійних втрат на 50-90 % порівняно з традиційною

оранкою. Розвинена коренева система сприяє поліпшенню структури ґрунту, його аерації та вологоутримання, а значна кількість органічних решток стимулює мікробіологічну активність і процеси гуміфікації. Важливим є також внесок спельти у секвестрацію вуглецю: за даними міжнародних досліджень (Poerlau & Don, 2015), агроґрунти здатні депонувати 0,90-1,85 Пг С/рік, тоді як органічні системи землеробства можуть акумулювати 200-400 кг вуглецю на гектар щорічно, що відповідає цілям кліматичних ініціатив. Додатково спельта виконує функцію збереження генофонду роду *Triticum* і сприяє формуванню агроландшафтів із підвищеним рівнем біорізноманіття за умов відмови від суцільного застосування гербіцидів.

Перехід до природоохоронних технологій вирощування спельти має чітке економічне й енергетичне обґрунтування: відмова від енергоємних азотних добрив і синтетичних засобів захисту дозволяє знизити сукупні енерговитрати на 15-30 % на гектар порівняно з інтенсивними зерновими культурами, що безпосередньо скорочує вуглецевий слід продукції. Хоча рівень урожайності спельти зазвичай нижчий, ніж у сучасних сортів пшениці озимої, її рентабельність зберігається високою завдяки преміальній вартості органічної продукції на ринку ЄС (за даними Eurostat) та істотному зменшенню виробничих витрат на паливо і агрохімікати.

Таблиця 1

Енергетична та економічна ефективність вирощування спельти в системі сталих технологій

Критерій оцінки	Пшениця (інтенсивна технологія)	Спельта (природоохоронна/органічна технологія)	Вплив на сталість агровиробництва
Енерговитрати на 1 га	Високі (100%)	Знижені на 15-30%	Зменшення споживання викопних ресурсів і вуглецевого сліду
Витрати на агрохімікати	Високі (добрива, ЗЗР)	Мінімальні / Відсутні	Зниження собівартості, покращення екології ґрунту
Урожайність	Висока (6-8 т/га)	Середня (3-5 т/га)	Компенсується вищою ціною реалізації та нижчими витратами
Ринкова вартість продукції	Базова ринкова ціна	Преміальна (органічний ринок)	Забезпечення стабільного доходу фермерських господарств
Кліматична стійкість (ризик)	Високі ризики при посухах	Низькі ризики (висока пластичність)	Гарантування продовольчої безпеки в нестабільні роки

Отже, впровадження природоохоронних технологій вирощування спельти формує збалансовану модель агровиробництва, у якій поєднуються екологічна стабільність і економічна ефективність. Зменшення хімічного навантаження, відновлення родючості ґрунтів і підтримка агробіорізноманіття - зокрема флори та корисної ентомофауни - сприяють збереженню генофонду роду *Triticum* і підвищують стійкість агросистем до кліматичних змін. Водночас висока енергетична віддача культури забезпечує доцільність її використання в сучасних умовах. Інтеграція спельти в органічні та ґрунтозахисні сівозміни відповідає глобальним цілям сталого розвитку (ЦСР 2, 13, 15) і визначає перспективний напрям екологізації аграрного сектору України, особливо в межах Полісся, Поділля та Карпат, де ця культура має природні передумови для ефективного поширення.

Список використаних джерел:

1. Ключевич М.М., Можарівська І.А., Вигера С.М. Поширені хвороби листя спельти в Поліссі України. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. Вип. 141. Ч. 2. С.221-226.

2. Ключевич М. М., Вигера С. М., Ковальчук Р. Л. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку органічного виробництва фітопродукції в Україні. *Moderní aspekty vědy: XLIX. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. P. 147- 156.*

3. Ключевич М. М., Вигера С. М., Можарівська І. А. Методологія захисту здоров'я рослин за зміни клімату та особливостей формування фітоценозів. Тези V Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації», 25 вересня 2025 року. Біла Церква: Білоцерківський НАУ, 2025. С. 97-100.

4. Protection of winter spelt against fungal diseases under organic production of phyto-products in the Ukrainian polissia / M. M. Kliuchevych, Yu. A. Nykytiuk, S. H. Stoliar, S. V. Retman, S. M. Vygera. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10 (1). P. 267-272.

**Ключевич М.М., д.с.-г.н., проф.,
завідувач кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів,
Ткач Б.В., студент 1-го курсу,
групи АГР-2, спеціальність
Н1 «Агрономія»**

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОТИЕРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ҐРУНТІВ ЯК СКЛАДОВА СТАЛОГО АГРОВИРОБНИЦТВА

В Україні близько 60,3 млн га земель, з яких 42,7 млн га сільськогосподарського призначення, при цьому йдеться про родючі ґрунти адже приблизно 40 % з них в Україні - це чорноземи. Україна посідає одне з перших місць за розораністю ґрунтів, близько 56 % земель нашої країни - це рілля. При всьому цьому в Україні майже 16 млн га земель еродовані, а це, за різними даними, наближено 20-27 % всіх земель країни й ерозія продовжує поширюватися на кожний п'ятий гектар, що не зазнав ерозії. Втрати гумусу на цих землях сягають від 30 до 70 %, але й це не все, з початком повномасштабного вторгнення площа земель, що деградували, збільшилася на 13 %. Якщо не вживати протиерозійних заходів то ґрунти здатні виснажитися за 20-30 років. Тому першочергове завдання як держави, так і фермерів - впровадження ґрунтоохоронних технологій, щоб зберегти продуктивність земель України [1-4].

Метою дослідження був комплексний аналіз сучасних методів протидії ерозійним процесам та оцінка ефективності інтегрованого підходу (поєднання механічних, біологічних і цифрових технологій) для відновлення родючості деградованих ґрунтів. Об'єктом дослідження є процес впровадження ґрунтозахисних і ресурсощадних технологій у систему землеробства сучасних аграрних підприємств. Для досягнення мети використовували такі методи як: системний огляд наукових публікацій та стратегічних звітів профільних установ; порівняльний аналіз результативності традиційного обробітку ґрунту проти систем No-till та Strip-till; узагальнення кейсів впровадження технологій точного землеробства для моніторингу ерозійних ризиків; аналіз результатів польових досліджень щодо впливу сидерації та мікробної біоремедіації на структуру і хімічний склад ґрунту [5].

Ерозія ґрунту, що в перекладі з латинської означає «роз'їдання», є одним із найнебезпечніших деструктивних процесів, що призводить до руйнування верхнього родючого шару землі та втрати її біологічного потенціалу. Неправильне землекористування, за якого ґрунт позбавлений періодів відновлення, а також помилки в іригації та застосування важкої техніки призводять до фізичної втоми землі. Особливої шкоди завдає традиційна глибока оранка, яка створює ідеальні умови для розвитку вітрової ерозії, особливо помітної в степових районах України, де навіть помірні повітряні потоки здатні видувати верхній шар разом із посіяним насінням. Водночас водна ерозія, що проявляється у формі площинного змиву або лінійного утворення ярів, катастрофічно скорочує площі орних земель і призводить до замулювання водойм.

Ефективними засобами для зменшення ерозії є технології “Mini-till”, “No-till”, “Strip-till”. Система “Mini-till” базується на мінімізації механічного стресу через лушення стерні на глибину 6-8 см та дискування на 12-15 см, що доповнюється глибоким розпушуванням (35-40 см) лише раз на три роки для запобігання компакції. Це стимулює накопичення органіки, покращуючи родючість до 45 %.

Більш радикальна технологія “No-till” передбачає повну відмову від порушення структури ґрунту: посів проводиться безпосередньо в мульчу, яка діє як терморегулятор, знижуючи температуру поверхні на 5-10 °С та майже повністю зупиняючи випаровування вологи. Водночас “Strip-till” виступає як екологічний компроміс, де обробляється лише смуга шириною 20-25 см для контакту насіння з ґрунтом, тоді як міжряддя залишаються захищеними рослинними рештками. Цей підхід дозволяє поєднувати посів із позакореневим живленням, адаптуючи мінеральне живлення до потреб кореневої системи.

Не менш ефективним методом є сидерація - стратегія відтворення родючості ґрунтів в Україні змушена адаптуватися до критичного дефіциту традиційних органічних добрив, зокрема гною, внесення якого скоротилося до мінімальних 0,7 т/га. У цих умовах сидерація, або використання зелених добрив, стає безальтернативним фактором біологізації землеробства, здатним забезпечити ґрунт необхідною кількістю гумусу та азоту без значних логістичних витрат. Заорювання 35-40 т/га свіжої рослинної маси еквівалентне внесенню аналогічної кількості гною, забезпечуючи надходження 150-200 кг біологічного азоту, коефіцієнт використання якого в перший рік удвічі перевищує показники традиційної органіки.

Оскільки сидерати мають вузьке співвідношення вуглецю до азоту, вони швидко мінералізуються, активізуючи сапрофітну мікрофлору, яка пригнічує патогени та покращує фітосанітарний стан агроценозу.

При цьому ефективність методу залежить від природно-кліматичної зони: в Поліссі доцільно використовувати люпин та ріпак озимий у формі підсівних чи поживних культур.

Дослідження підтверджують, що використання конюшини як попередника з пріоритетом другого укосу в Західному Лісостепу за своєю ефективністю відповідає внесенню мінеральних добрив у дозі N₉₀ P₉₀ K₉₀, що дозволяє вдвічі скоротити хімічне навантаження на агроєкосистему. Одночасне застосування соломи разом із сидератами створює оптимальний баланс органічної речовини, підвищуючи капілярну вологоємність та ємність катіонного обміну.

Ще одним ефективним методом відновлення ґрунтів особливо на забруднених від війни територіях є біоремедіація, яка являє собою інноваційну стратегію відновлення антропогенно змінених територій, що базується на мобілізації природного потенціалу живих організмів - мікроорганізмів, грибів і рослин для комплексного очищення екосистем. Цей метод визнано екологічно безпечним та економічно доцільним інструментом, спрямованим на повну регенерацію природних функцій ґрунту через низку спеціалізованих підходів. Серед них ключове місце посідає фіторемедіація, що реалізується через фітоекстракцію важких металів: цинку, свинцю та кадмію, за допомогою рослин-гіперакумуляторів (гірчиці, амаранту, бурячка стінного), а також через фітосанацію токсикантів із використанням соняшнику, кукурудзи та люцерни.

Паралельно з цим біодеградація забезпечує розкладання органічних забруднювачів, зокрема нафтопродуктів, пестицидів і вибухових речовин, за допомогою бактерій роду *Pseudomonas*, тоді як мікоремедіація використовує ферментні системи грибів для розщеплення складних хімічних сполук.

Додатковим механізмом виступає біосорбція, яка знижує біодоступність токсичних елементів шляхом внесення органічних адсорбентів, таких як торф, гній або сапропель. Ефективність цих процесів може бути посилена через стимульовану ремедіацію, яка передбачає створення оптимальних умов аерації, вологості та температури для розвитку аборигенної мікрофлори або внесення специфічних штамів мікроорганізмів. На територіях із незначним рівнем антропогенного навантаження може застосовуватися природна атенуація, що полягає у моніторингу природних процесів самоочищення. Особливої актуальності біоремедіація набуває як пріоритетний метод відновлення земель, що постраждали внаслідок військових дій, оскільки вона дозволяє здійснювати глибоку детоксикацію об'єктів без руйнування фізичної структури та родючого шару ґрунтового покриву.

Проведене дослідження підтверджує, що проблема ерозії та деградації ґрунтів в Україні набула критичного значення, особливо під впливом інтенсивного землеробства та наслідків військових дій. Традиційні методи обробітки вже не здатні забезпечити збереження гумусового шару, що ставить під загрозу продовольчу безпеку та економічну стабільність аграрного сектору. Комплексний аналіз показав, що найефективнішим шляхом вирішення цієї проблеми є перехід до інтегрованої системи ґрунтозахисту. Впровадження ресурсоощадних технологій обробітки, таких як "No-till", "Strip-till" та "Mini-till", дозволяє мінімізувати механічне руйнування ґрунту, стабілізувати його температуру та зберегти життєво необхідну вологу. Водночас активне використання сидерації виступає безальтернативним біологічним методом поповнення органічної речовини в умовах дефіциту традиційних добрив, забезпечуючи ґрунт доступним азотом і пригнічуючи патогенну мікрофлору. Окрему увагу в сучасних умовах слід приділяти методам біоремедіації, які відкривають унікальні можливості для детоксикації та відновлення територій, що постраждали від забруднення нафтопродуктами, важкими металами та вибуховими речовинами. Використання мікробіологічних препаратів і рослин-фіторемедіантів дозволяє регенерувати екосистеми без порушення фізичної цілісності ґрунтового покриву.

Список використаних джерел:

1. Ерозія ґрунту: причини, види, як боротися. *AgroApp*. URL: <https://agroapp.com.ua/uk/blog/eroziya-%D2%91runtu-prichini-vidi-yak-borotisyay/>
2. Ключевич М.М., Залевський Р.А., Венгер О. В., Пасічник І. О., Романчук Л. М. Агрохімічна трансформація ґрунтів Житомирського Полісся в сучасних умовах довгострокового землекористування. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2026. Вип. 147. Ч. 1. С. 226-233.*
3. Макарова Г. А., Глушенко М. К., Вакуленко Ю. В. Сидерація як фактор підвищення родючості ґрунтів. *Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Серія: Екологія. 2008. Т. 81, вип. 68. С. 52-54.*
4. Ключевич М.М., Залевський Р.А., Пасічник І. О., Романчук Л. М., Дрозд Б. Є. Еколого-агрохімічна оцінка динаміки родючості ґрунтів за інтенсивного агровиробництва на прикладі Ярунської СТГ Житомирської області. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. Вип. 146. Ч. 1. С. 99-107.*
5. Мінченко П. С. Використання технологій No-till, Strip-till і Mini-till в аграрному виробництві. *Підготовка фахівців технічних спеціальностей: тенденції розвитку та перспективи : збірник статей і тез Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції (м. Глухів, 2023 р.). Глухів : ВСП «Глухівський агротехнічний фаховий коледж СНАУ», 2023. С. 69-72.*

Ковальчук М.О.,
здобувач вищої освіти за освітнім ступенем «бакалавр»
спеціальність 101 «Екологія»
Науковий керівник: Нонік Л.Ю.,
доктор філософії кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Актуальність дослідження. Водні ресурси є одним із ключових компонентів природного середовища, що забезпечує життєдіяльність населення, функціонування економіки та підтримання екологічної рівноваги. В умовах інтенсивного антропогенного навантаження, яке значно посилилося внаслідок воєнних дій на території України, проблема забруднення водних об'єктів набуває критичного характеру. Руйнування гідротехнічної інфраструктури, підтоплення територій, пошкодження промислових об'єктів та масове потрапляння забруднюючих речовин у водні системи спричиняють деградацію водних екосистем і зниження якості води.

Особливістю сучасного етапу є поєднання традиційного антропогенного впливу з наслідками воєнних дій, що формує новий тип екологічних загроз, які мають комплексний, масштабний та часто непередбачуваний характер. Це обумовлює необхідність розроблення нових науково обґрунтованих підходів до оцінки стану водних ресурсів та впровадження ефективних технологій їх очищення.

Мета дослідження - проаналізувати сучасні проблеми забруднення водних ресурсів України в умовах воєнного часу та обґрунтувати комплекс заходів щодо їх вирішення.

Аналіз основних проблем забруднення водних ресурсів

Дослідження показало, що в умовах воєнного часу формуються специфічні чинники впливу на водні об'єкти, які значно відрізняються від традиційних джерел забруднення.

1. Механічне забруднення

Механічне забруднення є одним із найбільш масштабних проявів деградації водних ресурсів. Воно пов'язане з потраплянням у водні об'єкти уламків будівель, техніки, побутових відходів, деревини та інших матеріалів. Внаслідок цього:

- змінюється гідрологічний режим річок;
- утворюються затори та штучні перешкоди;
- погіршуються умови існування водних організмів;
- виникають вторинні процеси забруднення.

Особливо небезпечним є формування так званих «антропо-природних накопичень», які поєднують органічні та неорганічні компоненти і сприяють розвитку небажаних біохімічних процесів у водному середовищі.

2. Хімічне забруднення

- Хімічне забруднення водних ресурсів обумовлене надходженням у воду токсичних речовин, серед яких: важкі метали (Cu, Fe, Cr, Al);
- нафтопродукти;
- агрохімікати та добрива;
- продукти руйнування інфраструктури.

Доведено, що в окремих регіонах України спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій нітратів, амонію та фосфатів, що створює серйозні ризики для здоров'я населення та функціонування екосистем.

3. Забруднення підземних вод

Внаслідок підтоплення територій та пошкодження меліоративних систем відбувається активне проникнення забруднюючих речовин у підземні водоносні горизонти. Це є особливо небезпечним, оскільки підземні води часто використовуються як джерело питного водопостачання.

4. Порушення процесів самоочищення

Встановлено, що надмірне антропогенне навантаження знижує здатність водних екосистем до самовідновлення. Це проявляється у:

- зниженні вмісту розчиненого кисню;
- порушенні біологічних процесів;
- деградації біорізноманіття.

Вплив забруднення на екологічну безпеку

Погіршення якості води має прямий і опосередкований вплив на екологічну та національну безпеку держави. Основні наслідки включають:

- загрозу для здоров'я населення через використання неякісної питної води;
- зниження продуктивності аграрного сектору;
- втрату біорізноманіття;
- зростання витрат на водопідготовку.

У довгостроковій перспективі це може призвести до формування зон екологічного лиха та обмеження доступу до безпечних водних ресурсів.

Шляхи вирішення проблеми забруднення водних ресурсів

Вирішення проблеми потребує комплексного підходу, що поєднує інженерні, природоорієнтовані та організаційні заходи.

1. Впровадження комплексних систем очищення води

Ефективним є застосування багаторівневих систем, що включають:

- механічне очищення (видалення твердих домішок);
- фізико-хімічні методи;
- біологічне та природоорієнтоване доочищення.

Такі системи забезпечують комплексний вплив на всі типи забруднень.

2. Використання природних сорбційних матеріалів

Перспективним напрямом є застосування природних глин як сорбентів для очищення води від важких металів. Експериментальні дослідження показали, що глини здатні значно знижувати концентрацію іонів міді та інших забруднювачів, що підтверджує їх ефективність у системах доочищення.

3. Відновлення водогосподарської інфраструктури

Необхідним є:

- реконструкція гідротехнічних споруд;
- модернізація очисних систем;
- відновлення меліоративних мереж.

Ці заходи повинні враховувати сучасні екологічні та кліматичні виклики.

4. Посилення екологічного моніторингу

Регулярний контроль якості води дозволяє:

- своєчасно виявляти забруднення;
- прогнозувати зміни стану водних ресурсів;
- приймати обґрунтовані управлінські рішення.

5. Впровадження природоорієнтованих рішень (NbS)

Доцільним є використання екосистемних підходів:

- відновлення прибережних зон;
- створення буферних територій;
- стимулювання природних процесів самоочищення.

6. Інтеграція цифрових технологій

Використання ГІС, дистанційного зондування та систем моніторингу дозволяє підвищити ефективність управління водними ресурсами та забезпечити оперативне реагування на екологічні загрози.

Забруднення водних ресурсів України в умовах воєнного часу є складною багатофакторною проблемою, що поєднує механічні, хімічні та гідрологічні аспекти. Встановлено, що основними джерелами забруднення є руйнування інфраструктури, підтоплення територій та інтенсивний антропогенний вплив.

Доведено, що традиційні підходи до очищення води є недостатніми в сучасних умовах, що обумовлює необхідність впровадження інноваційних технологій та комплексних систем очищення. Найбільш ефективним є поєднання інженерних рішень із природоорієнтованими підходами, зокрема використанням природних сорбентів. Реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити ефективність очищення води, знизити екологічні ризики та забезпечити екологічну безпеку водокористування в Україні.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням інтегрованих систем моніторингу, удосконаленням методів оцінки якості води та впровадженням цифрових технологій у сфері управління водними ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Herasymchuk L. O., Patseva I., Valerko R. A., Ustylenko V.. Military actions in Ukraine as ecocide and challenge to environmental safety. *Present Environment and Sustainable Development*. 2024.
2. Валерко Р. А., Романчик Л. Д., Герасимчук Л. О. Оцінка якості питної води децентралізованих джерел водопостачання. *Вісник НУВГП*. 2023.
3. Герасимчук Л. О. ГІС як інструмент контролю та управління у сфері нецентралізованого водопостачання у межах ОТГ: монографія. Житомир: Поліський національний університет, 2022. 165 с.

УДК 556.5:504.4

**Кока А.С., студентка IV курсу, ТЗНС-42,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Романчук Л.Д., д.с.-г.н.,
проф. кафедри екології та природоохоронних технологій
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD,
ст. викладач кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВАЖЛИВІСТЬ КОМПЛЕКСНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ СЕЙМ)

Поверхневі води є одним із найцінніших і водночас найуразливіших компонентів навколишнього природного середовища. Вони забезпечують питні, господарські, рекреаційні, рибогосподарські та екологічні потреби суспільства, підтримують біорізноманіття та функціонування наземних і водних екосистем. У сучасних умовах зростаючого антропогенного навантаження, зміни клімату та техногенних ризиків проблема збереження якості річкових вод набуває особливої гостроти. Саме тому комплексна екологічна оцінка стану водних об'єктів є необхідною передумовою для розроблення ефективних природоохоронних заходів, раціонального управління водними ресурсами та забезпечення екологічної безпеки населення.

Водні об'єкти виконують низку життєво важливих екосистемних функцій: регулюють водний стік, беруть участь у кругообігу біогенних елементів, слугують середовищем існування для гідробіонтів, забезпечують самоочищення води. Однак під впливом господарської діяльності - скидів промислових і комунальних стічних вод, поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь, транскордонного перенесення забруднень - природна здатність річок до саморегуляції виснажується. Це призводить до евтрофікації, дефіциту кисню, накопичення токсичних речовин у донних відкладах і біоті, деградації біорізноманіття. Особливо вразливими є транскордонні річки, стан яких залежить не лише від національної природоохоронної політики, а й від дій суміжних держав.

Річка Сейм - ліва притока Десни, один із найбільших водотоків лівобережної частини басейну Дніпра. Вона має важливе водогосподарське, рибогосподарське, рекреаційне та транскордонне значення. Протягом останніх десятиліть екологічний стан Сейму погіршується через високе органічне навантаження, надходження біогенних елементів із сільськогосподарських угідь, недостатньо очищені комунальні та промислові стоки, а також аварійні транскордонні скиди. Найрезонансним став екологічний інцидент 2024 року, коли в басейні Сейму було зафіксовано різке погіршення гідрохімічних показників, дефіцит розчиненого кисню та масову загибель риби внаслідок надходження висококонцентрованих органічних стоків з території сусідньої держави.

Комплексна екологічна оцінка водного об'єкта передбачає не лише визначення окремих гідрохімічних показників (розчинений кисень, БСК₅, ХСК, азотні та фосфорні сполуки, важкі метали), а й аналіз гідроморфологічних характеристик, біоіндикаційних індексів, джерел антропогенного навантаження та часової динаміки забруднення. Такий підхід дозволяє встановити реальний рівень деградації екосистеми, оцінити ризики для здоров'я населення та обґрунтувати пріоритетні заходи відновлення. Для річки Сейм, зокрема, було виявлено стійке перевищення ГДК за амонійним азотом (у 1,4-2,7 раза), загальним залізом (до 7,9 раза), підвищені значення БСК₅ (7,3-7,4 мгО₂/дм³) та ХСК (58-60 мгО₂/дм³), що свідчить про значне органічне забруднення. Крім того, у тканинах риб виявлено залишкові кількості хлороорганічних пестицидів (ДДТ, ГХЦГ, гептахлор), що вказує на тривалу біоаккумуляцію стійких токсикантів.

Важливість дослідження водних об'єктів, зокрема Сейм, зумовлена їх роллю як інтегральних індикаторів стану всього водозбірного басейну. Гідрологічні та гідрохімічні показники річки акумулюють інформацію про процеси, що відбуваються на значній території, включаючи сільськогосподарські угіддя, промислові зони та населені пункти. Таким чином, якість води відображає сумарний вплив природних і антропогенних чинників, дозволяючи оцінити рівень екологічного навантаження на басейн у цілому.

Погіршення якості води у річкових системах свідчить про системні проблеми водоохоронної діяльності, зокрема нераціональне землекористування, недосконалість або зношеність очисних споруд, а також недостатній рівень екологічного контролю. Відсутність регулярного моніторингу та науково обґрунтованої оцінки стану водних ресурсів ускладнює своєчасне виявлення негативних тенденцій, що може призводити до розвитку кризових явищ, включаючи евтрофікацію, зниження біорізноманіття та загибель гідробіонтів. Крім того, це має прямі економічні наслідки, пов'язані з погіршенням якості води для господарських потреб та зростанням витрат на її очищення.

Особливу складність становить транскордонний характер річки Сейм, який зумовлює необхідність координації природоохоронних заходів між країнами. Ефективне управління таким водним об'єктом

потребує гармонізації підходів до моніторингу, стандартизації методів оцінки якості води та впровадження спільних стратегій управління водними ресурсами. Лише за умов міждержавної співпраці можливе досягнення сталого екологічного стану річки та зменшення антропогенного навантаження на її екосистему.

Результати комплексної оцінки стану водних об'єктів мають вагомe прикладне значення та можуть бути безпосередньо використані органами державного управління, басейновими водними адміністраціями та територіальними громадами для обґрунтованого планування водоохоронних заходів. Такі оцінки забезпечують наукову основу для прийняття управлінських рішень, спрямованих на зниження антропогенного навантаження, покращення якості води та відновлення екологічних функцій водних екосистем. Вони також дозволяють визначити пріоритетні ділянки втручання та оптимізувати використання фінансових і технічних ресурсів.

До ключових заходів, що можуть бути реалізовані на основі отриманих результатів, належать модернізація та реконструкція очисних споруд, створення та відновлення прибережних захисних смуг, впровадження систем раннього попередження про аварійні та транскордонні скиди забруднюючих речовин, а також ренатуралізація заплавної екосистем. Не менш важливим є посилення лабораторного контролю якості води, що дозволяє забезпечити достовірність даних моніторингу та своєчасно реагувати на погіршення екологічного стану водних об'єктів.

Особливого значення у сучасних умовах набуває впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами, передбаченого Водна рамкова директива ЄС. Цей підхід передбачає інтегроване управління водними ресурсами в межах річкових басейнів із урахуванням екологічних, соціальних та економічних аспектів. Водночас актуальним є розширення мережі моніторингу шляхом впровадження сучасних технологій, зокрема автоматичних сенсорних систем та біоіндикаційних методів, що дозволяють підвищити оперативність, точність та інформативність екологічного контролю. Отже, дослідження водних об'єктів, зокрема комплексна екологічна оцінка стану річки Сейм, є необхідною умовою для збереження водних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку регіону. Воно дозволяє не тільки констатувати факт забруднення, а й виявити його причини, оцінити наслідки для екосистеми та здоров'я людини, а також запропонувати дієві механізми відновлення природної рівноваги. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення моніторингу, розвиток міжнародної співпраці в транскордонних басейнах та впровадження природоорієнтованих рішень для поліпшення якості води.

Список використаних джерел:

1. Іщук О. В., Василенко О. М. Оцінка екологічного стану річки Сейм у контексті транскордонного забруднення. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2025. № 14. С. 316-327.
2. Іщук О. В., Василенко О. М. Моніторинг миш'яку та кадмію у водних екосистемах транскордонного басейну Десна-Сейм. *Acta Carpathica*. 2025. № 2. С. 44-50.
3. Kovalenko S. Determination of the ecological condition of a surface water object (on the example of the Seim river). *Technogenic and Ecological Safety*. 2022. № 12(2/2022). С. 23-31.
4. Водна рамкова директива Європейського Союзу 2000/60/ЄС. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en (дата звернення: 10.04.2026).
5. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А., Шацило Є.Г, Романчук Л.М. Екологічна оцінка питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст сульфатів, хлоридів та нітратів. *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2024. Випуск 2(53). С. 165-170. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.22>
6. Kireitseva H.V., Khomenko S.V., Paliy O.V., Kravchuk-Obodzinska T.V., Suprunova I.V. Monitoring of greenhouse gas emissions at mining and processing plants in Ukraine under European integration conditions. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 33. С. 121-136. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-09>
7. Касмініук Д.О. Кравчук-Ободзінська Т.В. Екологічний моніторинг дослідження накопичення осаду на території очисних споруд комунальних підприємств. *Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування», 14 листопада 2024 року. Житомир : «Житомирська політехніка», 2024. С.96.*

УДК 504.4.054:622.5(282.247.36)

**Кокошкін К.К., студент IV курсу, групи ЗТЗНС-22
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища»,
Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАТОПЛЕННЯ ШАХТ ТА РИЗИК РАДІОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕННЯ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

Екологічна ситуація на сході України, зокрема в Донецькому вугільному басейні, набула ознак масштабної катастрофи через масове і неконтрольоване затоплення шахт. Цей процес, який значно прискорився внаслідок бойових дій та окупації частини територій, призводить до порушення гідрогеологічного балансу цілого регіону. Витіснення шахтних вод на поверхню загрожує не лише підтопленням населених пунктів, але й катастрофічним забрудненням ґрунтів та водоносних горизонтів важкими металами і високомінералізованими розчинами.

Найгострішою та найнебезпечнішою складовою цієї проблеми є ризик радіаційного забруднення, пов'язаний із затопленням шахти «Юнком» (Юний Комунар), де у 1979 році було здійснено підземний ядерний вибух - об'єкт «Кліваж». З 2018 року окупаційні адміністрації повністю припинили відкачування води з цієї шахти, що призвело до її затоплення та неминучого контакту підземних вод із радіоактивною капсулою. Розгерметизація цього об'єкта перетворює локальну проблему на загрозу транскордонного масштабу.

Таблиця 1

Етапи розвитку екологічної катастрофи при затопленні шахт

Фаза затоплення	Процеси в гірничих виробках	Екологічні наслідки для довкілля	Ступінь загрози
I. Початкова (1-3 роки)	Зупинка pomp; поступове заповнення підземними водами; витіснення газу.	Вихід метану та радону на поверхню; локальне осідання ґрунтів; загазованість	Локальна (середня)
II. Активна хімічна (3-7 років)	Вода контактує з вугільними пластами та породами; розчинення солей, утворення сульфатної кислоти.	Формування високотоксичних та мінералізованих розчинів; знищення мікрофлори.	Регіональна (висока)
III. Радіаційний контакт (5-10 років)	Рівень води досягає критичних позначок (зокрема, об'єкта «Кліваж»); вимивання ізотопів зі склоподібної маси.	Перехід радіонуклідів у водорозчинні форми; зараження єдиного техногенного водоносного горизонту.	Критична
IV. Поверхневий вилив (від 10 років)	Переповнення підземних резервуарів; гідравлічне перетікання; вихід шахтних вод у річки Булавінка, Кривий Торець.	Потрапляння важких металів та радіонуклідів у Сіверський Донець; отруєння питних водозаборів; засолення ґрунтів.	Транскордонна (катастрофічна)

Головним реципієнтом усіх підземних і поверхневих водних потоків цього регіону є річка Сіверський Донець - ключова водна артерія сходу України. Вона забезпечує питною водою, а також ресурсами для сільського господарства та промисловості мільйони мешканців Донецької, Луганської та Харківської областей. Потрапляння радіонуклідів у басейн Сіверського Дінця означатиме незворотне радіоактивне зараження стратегічного джерела водопостачання, що унеможливить безпечне проживання на величезних територіях.

Враховуючи вищезазначене, комплексна екологічна оцінка наслідків затоплення шахт та моделювання шляхів міграції радіонуклідів до Сіверського Дінця є надзвичайно актуальним науковим і практичним завданням. Незважаючи на ускладнений доступ до об'єктів досліджень через війну, використання методів дистанційного зондування та математичного моделювання дозволяє спрогнозувати масштаби лиха та розробити превентивні заходи. Це дослідження покликане привернути увагу міжнародної спільноти до прихованої екологічної загрози, що формується в надрах Донбасу.

Гідрогеологічна система Донецького вугільного басейну історично формувалася під впливом масштабного відкачування підземних вод, що утримувало депресійні лійки навколо шахт. З масовим

закриттям підприємств та припиненням роботи водовідливів почався процес відновлення природного рівня ґрунтових вод, але вже у зміненому, техногенному середовищі. Вода заповнює гірничі виробки, розчиняючи на своєму шляху сульфати, хлориди та важкі метали, що призводить до утворення високомінералізованих, агресивних розчинів. Цей процес порушує гідравлічну ізоляцію між різними водонесними горизонтами.

Особливу загрозу в цьому ланцюзі становить шахта «Юнком», де на глибині 903 метри знаходиться об'єкт «Кліваж» - камера, що утворилася після ядерного вибуху потужністю 0,3 кілотонни. У цій камері та навколишніх тріщинуватих породах зосереджено значну кількість небезпечних ізотопів: стронцій-90, цезій-137, плутоній-239 та америцій-241 (табл. 2). Спочатку радіоактивний розплав перебував у сухому стані, і так звана «мокра консервація» (повне затоплення) категорично заборонялася науковцями через високу розчинність цих елементів.

Таблиця 2

Забруднювачі

Показник / Забруднювач	Джерело походження	Вплив на екосистему та здоров'я	Рівень загрози (в умовах затоплення)
Стронцій-90 Цезій-137	«Кліваж» (ш. Юнком)	Акумуляція в кісткових та м'язових тканинах, радіаційне ураження	Критичний (довгострокова міграція)
Сульфати, Хлориди	Вимивання з вугільних пластів	Засолення прісних вод, знищення прісноводної флори і фауни	Високий
Важкі метали (Pb, Cd, Hg)	Окислення рудних мінералів шахт	Токсичне отруєння, накопичення в харчових ланцюгах	Високий
Шахтний метан	Витіснення з підземних порожнин	Забруднення атмосфери, ризик вибухів у підвалах будівель	Середній

Після рішення окупаційної влади у 2018 році про припинення відкачування води рівень затоплення шахти «Юнком» почав стрімко зростати, досягнувши критичних позначок. Підземні води, що контактують з радіоактивною капсулою, запускають механізм вимивання ізотопів з вітрифікованого розплаву. Оскільки вода в шахтах Донбасу є хімічно агресивною, швидкість руйнування склоподібної маси, що стримує радіацію, багаторазово зростає, переводячи нукліди у водорозчинні та рухомі форми.

Шляхи міграції заражених вод пролягають через складну систему підземних гідравлічних зв'язків між сусідніми шахтними полями («Червоний Жовтень», «Ольховатська» та інші). З переповнених підземних резервуарів забруднена вода неминуче виходить на денну поверхню, потрапляючи до малих річок регіону, таких як Булавинка. Ця річка, у свою чергу, несе свої води до Кривого Торця, далі - до Казенного Торця, який є безпосередньою притокою річки Сіверський Донець.

Швидкість поширення радіоактивного та хімічного забруднення залежить від багатьох факторів, зокрема сезонних коливань рівня опадів та ступеня проникності гірських порід. За попередніми математичними моделями, перші ознаки появи радіонуклідів техногенного походження в поверхневих водах басейну Сіверського Дінця можуть фіксуватися вже через 5-7 років після повного затоплення об'єкта «Кліваж». Це створює ефект бомби уповільненої дії для екосистеми всього сходу України.

Висновок. Затоплення шахт Донбасу, і зокрема шахти «Юнком», є екологічною катастрофою регіонального та транскордонного масштабу. Припинення водовідливу на об'єкті «Кліваж» запустило незворотний процес вимивання небезпечних радіонуклідів у підземні води. Враховуючи складну гідрогеологічну мережу, потрапляння цих ізотопів разом із високомінералізованими та токсичними шахтними водами до басейну річки Сіверський Донець є лише питанням часу. Це створює безпрецедентні ризики для питного водопостачання, здоров'я мільйонів людей та життєздатності цілих екосистем. З огляду на ускладнений фізичний доступ до об'єктів внаслідок збройного конфлікту, пріоритетним завданням є розгортання посиленого дистанційного та інструментального моніторингу якості води на контрольованих територіях із залученням міжнародних інституцій для мінімізації наслідків цієї катастрофи.

Список використаних джерел:

1. Яковлев, С. О., та ін. (2023). Вплив затоплення шахт Донбасу на екологічну безпеку територій. Екологія довкілля, 14(2), 45-56.
2. ГО «Екодія». (2022). Затоплення шахт на Донбасі: ризики та шляхи подолання екологічної катастрофи. Київ: Екодія.
3. Чумаченко, О. М., & Приходько, І. В. (2024). Моделювання міграції радіонуклідів та важких металів у поверхневих водах сходу України. Гідрологія та водні ресурси, 8(1), 112-124.
4. Програма ООН з довкілля (UNEP). (2023). Оцінка екологічної шкоди від конфлікту в Україні: водні ресурси та інфраструктура. Женева: UNEP.

УДК 574.24:504.054

Колісник В.В., здобувач освітнього ступеня «магістр»
Довбинчук Т.В., канд. біол. наук, зав. лаб.
Сінгаєвський Є.М., канд. біол. наук, асист.
Науковий керівник: Гарманчук Л.В., д-р біол. наук, проф.
Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА РІВЕНЬ ФАГОЦИТАРНОЇ ТА АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ

Глобальне забруднення навколишнього середовища синтетичними полімерами становить значну загрозу для стабільності екосистем. У контексті пошуку сталих екологічних рішень для циркулярної економіки особливу увагу привертає чорна левинка (*Hermetia illucens*). Личинки цього виду зарекомендували себе як високоефективні агенти біоконверсії органічних відходів. Однак здатність личинок утилізувати невідсортовані муніципальні та харчові відходи неминуче призводить до їхнього хронічного контакту з мікропластиком (МП). На сьогодні існує критичний брак даних щодо того, як мікропластикове навантаження впливає на життєздатність та імунно-метаболічний статус цих комах, що може ставити під загрозу ефективність та безпеку промислової біоконверсії.

Метою нашого дослідження було оцінити імунотоксикологічний вплив дрібнодисперсного поліметилметакрилату (ПММА, 10-100 мкм) на фізіологічний стан та показники антиоксидантного захисту личинок *H. illucens*.

Моделювання хронічного токсичного стресу проводили протягом 7 діб, починаючи з 7-го дня вилуплення. Було сформовано чотири експериментальні групи з різною масовою часткою ПММА у субстраті: Контроль (0%), Д1 (1%), Д2 (3%) та Д3 (5%). Щільність посадки становила близько 1000 особин на контейнер. Для уникнення контамінації біопроб неперетравленим мікропластиком з просвіту кишківника було застосовано оптимізовану методику мануальної евісцерації з подальшою механічною гомогенізацією жирового тіла та кутикули у фосфатно-сольовому буфері (1:4). Оцінку біохімічних маркерів проводили спектрофотометричним методом із нормалізацією на рівень загального білка.

Встановлено нелінійну динаміку біомаси: при 1% ПММА спостерігався компенсаторний приріст (ефект гормезису), тоді як при 3-5% - зниження маси через механічне забивання кишківника. Біохімічний аналіз виявив розвиток трифазної адаптаційної відповіді. Стадія «тривоги» (1% ПММА) характеризувалась оксидативним вибухом (зростання ТБК у 2,3 рази) та екстреною мобілізацією антиоксидантів: активність СОД зросла у 3,2 рази, каталази - у 2,5 рази, а GST продемонструвала вибухове зростання у 42 рази (до 77,23 нмоль/хвмг). На стадії «резистентності» (3% ПММА) висока активність ферментів зберігалась, проте пул GST почав виснажуватись. Експозиція до 5% ПММА призвела до стадії «виснаження»: зафіксовано колапс активності GST (до 5,397 нмоль/хвмг) та падіння рівня відновленого глутатіону (до 1,27 у.о./мг).

Одержані результати доводять імуносупресивну дію мікропластику в субстраті. Попри стійкість *H. illucens* до летальності, нейтралізація ксенобіотика вимагає значних енерговитрат. Це створює ризики для промислової біоконверсії, оскільки метаболічне виснаження знижує стійкість популяції до інфекцій та погіршує поживну якість отриманої біомаси.

Список використаних джерел:

1. Kistner, M., et al. Exploring the Intersection of Microplastics and Black Soldier Fly Larvae: A Comprehensive Review. *Insects*, 2025.
2. Lievens, S., et al. Ingestion and excretion dynamics of microplastics by black soldier fly larvae and correlation with mouth opening size. *Environmental Pollution*, 2023.

Кравченко Н.В., д.с.-г.н., проф.
Козар М., студент 1-го курсу, групи АГР-2
Ткаченко Д., студент 1-го курсу, групи АГР-2
Хаба В., студент 1-го курсу, групи АГР-2
Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Державний університет «Житомирська політехніка»

АГРОВОЛЬТАЙКА ЯК ІННОВАЦІЙНА ПРИРОДООХОРОННА ТЕХНОЛОГІЯ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Сучасне сільське господарство України функціонує в умовах зростаючого кліматичного ризику, деградації ґрунтів і підвищення енергетичної залежності аграрного сектору. Зміни температурного режиму, нерівномірний розподіл опадів і часті посухи особливо відчутні в зоні Полісся, де традиційно переважають дерново-підзолисті ґрунти з низькою водоутримуючою здатністю. У цих умовах виникає необхідність впровадження інноваційних природоохоронних технологій, що забезпечують одночасно продуктивність та екологічну стійкість агроєкосистем [2].

Одним із таких рішень є *агровольтаїка* - система подвійного використання земель, що поєднує вирощування сільськогосподарських культур із виробництвом електроенергії за допомогою сонячних панелей [4, 7].

Світові дослідження демонструють, що агровольтаїчні системи здатні підвищити загальну ефективність використання земель на 30-70 % (за показником LER - *land equivalent ratio*). Встановлено, що часткове затінення сприяє зменшенню транспірації та покращенню водного балансу рослин, особливо у посушливих умовах. Дослідження в країнах ЄС (Німеччина, Франція, Італія) підтверджують, що агровольтаїка є ефективним інструментом досягнення цілей сталого розвитку та декарбонізації аграрного сектору [5,9].

В Україні цей напрям лише формується, але має значний потенціал, зокрема для малих і середніх фермерських господарств. Наукове обґрунтування агровольтаїки, як природоохоронної технології та оцінка перспектив її впровадження в агроєкосистемах України. Агровольтаїка базується на принципі синергії між фотосинтетичною активністю рослин і фотоелектричним перетворенням сонячної енергії [1,3]. Розміщення сонячних панелей над, або між рядками культур створює специфічний мікроклімат, який характеризується: зниженням температури ґрунту на 2-5 °С; зменшенням випаровування вологи на 15-30 %; зниженням інтенсивності сонячної радіації (часткове затінення); покращенням умов для розвитку мезофітних культур. Водночас панелі формують специфічний мікроклімат, який характеризується зниженням температури повітря у денний період (на 2-4 °С), зменшенням інтенсивності прямого сонячного випромінювання та підвищенням відносної вологості повітря [6,8]. Такі зміни мікроклімату мають суттєвий вплив на фізіологічні процеси рослин. Зокрема, зниження температурного стресу сприяє стабілізації фотосинтетичної активності, тоді як зменшення транспірації дозволяє підвищити ефективність використання води. Це особливо важливо для культур із високими вимогами до вологозабезпечення, таких як картопля (*Solanum tuberosum L.*), яка широко вирощується в Україні та має важливе значення для продовольчої безпеки.

Умови Полісся України є особливо сприятливими для впровадження агровольтаїчних систем, завдяки достатньому рівню зволоження та помірному сонячному випромінюванню. Найбільш перспективними культурами є: *салатні культури (Lactuca sativa L.)*; *шпинат (Spinacia oleracea L.)*; *суниця садова (Fragaria × ananassa)*; *кормові трави (Trifolium pratense, Lolium perenne)*.

Важливою перевагою агровольтаїки є зниження ерозійних процесів та захист ґрунту від деградації. Сонячні панелі виконують роль фізичного бар'єру, що зменшує вплив інтенсивних опадів і вітрової ерозії.

Крім того, впровадження агровольтаїчних систем сприяє:

- ✓ диверсифікації доходів фермерських господарств;
- ✓ зменшенню вуглецевого сліду аграрного виробництва;
- ✓ підвищенню енергетичної автономності агропідприємств.

З економічної точки зору, поєднання виробництва продукції рослинництва та електроенергії дозволяє підвищити рентабельність використання земель до 120-160 % у порівнянні з традиційними системами.

Агровольтаїка відповідає принципам природоохоронних технологій, оскільки: знижує навантаження на земельні ресурси; сприяє збереженню біорізноманіття; зменшує використання водних ресурсів; сприяє адаптації агроєкосистем до кліматичних змін. Особливо актуальним є використання таких систем у регіонах із ризиком посухи та деградації ґрунтів. Агровольтаїка є перспективним інноваційним напрямом розвитку природоохоронних технологій у сільському господарстві. Її впровадження в Україні, зокрема в умовах

Житомирської області, сприятиме підвищенню ефективності використання агроландшафтів, зменшенню екологічного навантаження та забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору.

У контексті адаптації рослин до умов агровольтаїки ключову роль відіграють біотехнологічні підходи. Сучасні методи культури тканин (*in vitro*), мікроклонального розмноження та клітинної селекції дозволяють отримувати генетично однорідний, безвірусний посадковий матеріал із заданими господарсько цінними ознаками. Використання молекулярно-генетичних маркерів значно прискорює процес ідентифікації генотипів, адаптованих до умов зниженого освітлення та зміненого спектрального складу світла. Такі генотипи характеризуються підвищеною тіньостійкістю, ефективнішим використанням фотосинтетично активного випромінювання та стабільною врожайністю в умовах часткового затінення. Підвищення продуктивності агровольтаїчних систем є застосування біологічних препаратів на основі ризосферних мікроорганізмів. Ризобактерії та мікоризні гриби покращують структуру ґрунту, підвищують його водоутримуючу здатність, стимулюють розвиток кореневої системи та підвищують доступність поживних речовин. Це сприяє формуванню більш стійких агроєкосистем, здатних протистояти стресовим умовам довкілля.

Інтеграція агровольтаїчних систем із технологіями точного землеробства відкриває нові можливості для оптимізації виробництва. Використання сенсорів для моніторингу вологості ґрунту, температури, рівня освітленості та фотосинтетично - активного випромінювання дозволяє здійснювати адаптивне управління агротехнологічними процесами. Зокрема, можливе автоматичне регулювання кута нахилу сонячних панелей для оптимізації світлового режиму рослин, а також точне управління системами зрошення та живлення.

Енергетична складова агровольтаїки має важливе економічне значення. Генерована електроенергія може використовуватися для забезпечення потреб господарства, включаючи зрошення, зберігання продукції, функціонування теплиць і переробних комплексів. Це дозволяє суттєво знизити витрати на енергоресурси (до 30-40 %) та підвищити енергонезалежність аграрних підприємств.

З екологічної точки зору агровольтаїка сприяє зменшенню деградації ґрунтів, захищає їх від перегріву та ерозії, а також покращує водний баланс агроландшафтів. Часткове затінення поверхні ґрунту зменшує випаровування вологи та сприяє збереженню біологічної активності ґрунтових мікроорганізмів, крім того, зменшується потреба у надмірному зрошенні, що є критично важливим у регіонах із дефіцитом водних ресурсів.

Отже, агровольтаїка є інноваційною природоохоронною технологією, яка поєднує екологічні, економічні та соціальні переваги. Її впровадження в Україні має значний потенціал у контексті адаптації сільського господарства до кліматичних змін, підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. Поєднання агровольтаїчних систем із сучасними біотехнологіями формує основу для створення високоефективних, екологічно безпечних агроєкосистем майбутнього.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію технології до конкретних ґрунтово-кліматичних умов та оптимізацію підбору культур для агровольтаїчних систем.

Список використаних джерел:

1. Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G. et al. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725-2732.
2. Кравченко Н. В., Ключевич М. М., Каракурбанли І., Сулейманова С. Перспективи інтеграції агровольтаїки при вирощуванні картоплі Тези VI Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та досягнення сучасної біотехнології", 27 березня 2026 року. м. Харків : Фармацевтичний університет, 2026. С.258-259.
3. Barron-Gafford, G. A., et al. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2, 848-855.
4. Adeg, E. H., Good, S. P., Calaf, M., Higgins, C. W. (2019). Solar PV power potential is greatest over croplands. *Scientific Reports*, 9, 11442.
5. Tiwari, J. K., Buckseth, T., Devi, S. et al. (2018). Molecular markers and their application in potato breeding. *Plant Breeding Reports*.
6. Bhojwani, S. S., Dantu, P. K. (2013). *Plant Tissue Culture: An Introductory Text*. Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-1026-9>
7. Smith, S. E., Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press.
8. Vandenkoornhuyse, P., et al. (2015). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206(4), 1196-1206.
9. FAO (2021). The State of Food and Agriculture - Making agrifood systems more resilient. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/04f5ae8c-1f5c-48cf-890d-6bba648b75c6/content/cb4476en.html>

Кудlach А.М., студентка 2-го курсу, гр. ДЕ-21-24
дорожньо-будівельний факультет
Науковий керівник: Душкін С.С., к.т.н., доц.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МИЙНИХ ЗАСОБІВ АТП

Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту призводить до зростання обсягів використання мийних засобів на автотранспортних підприємствах (АТП), що, у свою чергу, супроводжується утворенням значних кількостей забруднених стічних вод. Відпрацьовані мийні розчини містять поверхнево-активні речовини (ПАР), нафтопродукти, важкі метали та інші токсичні компоненти, які становлять загрозу для водних екосистем і можуть призводити до порушення процесів самоочищення водою. Сучасні дослідження підтверджують, що ПАР здатні до біоаккумуляції, знижують розчинність кисню у воді та негативно впливають на гідробіонтів, що обумовлює необхідність впровадження ефективних технологій очищення та повторного використання мийних розчинів [1].

На автотранспортних підприємствах утворення відпрацьованих мийних розчинів є невід'ємною складовою процесів технічного обслуговування та миття транспортних засобів. Основною проблемою є високий рівень забруднення таких стоків нафтопродуктами, завислими речовинами та синтетичними поверхнево-активними речовинами, що ускладнює їх очищення традиційними методами. Застосування механічного відстоювання, коагуляції та флоатції дозволяє частково знизити концентрацію забруднень, однак не забезпечує повного видалення розчинених органічних компонентів і ПАР, що призводить до вторинного забруднення навколишнього середовища [2]. Крім того, традиційні методи очищення характеризуються значними експлуатаційними витратами, утворенням вторинних відходів та низькою ефективністю при змінному складі стічних вод, що є типовим для АТП. У зв'язку з цим актуальним є пошук ресурсозберігаючих технологій, орієнтованих не лише на очищення, а й на повторне використання мийних розчинів шляхом їх регенерації.

Перспективним напрямом вирішення зазначеної проблеми є впровадження технологій регенерації відпрацьованих мийних розчинів, що передбачають їх очищення з подальшим повторним використанням у виробничому циклі. Найбільш ефективними є комбіновані методи, що поєднують фізико-хімічні та мембранні технології (ультрафільтрація, нанофільтрація), які забезпечують видалення як завислих речовин, так і розчинених органічних сполук та ПАР. Застосування таких підходів дозволяє значно знизити водоспоживання, скоротити обсяги скидів забруднених стічних вод та мінімізувати негативний вплив на довкілля [3].

Екологічна доцільність регенерації мийних засобів на АТП полягає у зменшенні антропогенного навантаження на водні об'єкти, зниженні викидів забруднюючих речовин та підвищенні рівня ресурсоефективності підприємств. Повторне використання очищених розчинів сприяє реалізації принципів циркулярної економіки та сталого розвитку, що відповідає сучасним екологічним вимогам і нормативам. Таким чином, впровадження технологій регенерації є екологічно обґрунтованим і економічно доцільним рішенням для автотранспортних підприємств.

Список використаних джерел:

1. Kulkarni D., Jaspal D., Itankar N. Surfactant removal from wastewater: a comparative review on adsorption versus other techniques // *Environmental Technology Reviews*. 2025. Vol. 14. P. 713-742. DOI: <https://doi.org/10.1080/21622515.2025.2528168>
2. Jena G., Dutta K., Daverey A. Surfactants in water and wastewater (greywater): Environmental toxicity and treatment options // *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. P. 140082. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140082>
3. Devaisy S., Kandasamy J., Nguyen T. V., Ratnaweera H., Vigneswaran S. Membranes in water reclamation: treatment, reuse and concentrate management // *Membranes*. 2023. Vol. 13(6). P. 605. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes13060605>

Куксенко Ю.В.,
здобувач вищої освіти за освітнім ступенем «бакалавр»,
спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Мельник-Шамрай В.В., к.с.-г.н., доц.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА УПРАВЛІННЯ МЕДИЧНИМИ ВІДХОДАМИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЇХ УТВОРЕННЯ, ЗБИРАННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ

В умовах зростання антропогенного навантаження на довкілля та підвищення вимог до санітарно-епідеміологічної безпеки особливої актуальності набуває проблема ефективного управління медичними відходами. Заклади охорони здоров'я є джерелом утворення специфічних відходів, які можуть становити значну загрозу для навколишнього середовища та здоров'я населення у разі неналежного поводження з ними. За даними міжнародних організацій, зокрема Всесвітньої організації охорони здоров'я [1], у країнах із розвинутою системою охорони здоров'я обсяги утворення медичних відходів становлять у середньому 2-3 кг на одного пацієнта на добу, що підтверджується статистикою країн Європейського Союзу та США (близько 2,5 кг/пацієнта/добу). Водночас у країнах із менш розвинутою інфраструктурою, до яких належить і Україна, цей показник є нижчим і становить орієнтовно 0,5-1 кг/пацієнта/добу. Проте менші обсяги утворення відходів не свідчать про зниження рівня екологічної небезпеки. Навпаки, за відсутності належної системи сортування, збирання, транспортування та утилізації навіть незначні кількості медичних відходів можуть становити серйозну загрозу для довкілля та здоров'я населення. Це зумовлено недостатнім рівнем розвитку інфраструктури, обмеженим фінансуванням і недосконалістю практичної реалізації нормативних вимог. Таким чином, проблема управління медичними відходами в Україні є не стільки кількісною, скільки якісною, що підкреслює необхідність удосконалення системи поводження з ними відповідно до міжнародних стандартів та принципів екологічної безпеки.

Відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів, зокрема наказу Міністерства охорони здоров'я України від 31.10.2024 № 1827 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Порядок управління медичними відходами...» [2], у закладах охорони здоров'я регламентовано всі етапи поводження з медичними відходами, які утворюються в процесі діагностики, лікування та профілактики захворювань. Попри вдосконалення нормативної бази та запровадження сучасних вимог до їх безпечного управління, проблема поводження з медичними відходами в Україні залишається складною та подекуди критичною. Це зумовлено як значними обсягами їх утворення у медичних установах, так і недостатньою ефективністю практичної реалізації вимог, що спостерігалось ще в період дії попереднього нормативного документа - наказу МОЗ України від 08.06.2015 № 325, який нині втратив чинність [3].

Для більш ґрунтовного аналізу сучасного стану управління медичними відходами доцільно систематизувати ключові проблеми, що виникають на різних етапах поводження з ними. Узагальнення основних труднощів, їх причин та наслідків дозволяє виявити найбільш критичні аспекти та визначити пріоритетні напрями вдосконалення системи управління медичними відходами (табл. 1).

Таблиця 1

Проблеми управління медичними відходами

Проблема	Причини	Наслідки
Недостатнє фінансування	Відсутність коштів у бюджетах ЗОЗ	Неможливість виконання нормативних вимог
Відсутність інфраструктури	Немає заводів утилізації/переробки	Накопичення відходів
Висока вартість транспортування	Далека логістика (Одеса), дороге пальне	Фінансове навантаження
Порушення умов зберігання	Відсутність обладнаних майданчиків	Забруднення довкілля
Недостатня переробка	Відсутність підприємств	Втрата ресурсів

Як видно з наведених даних, проблеми управління медичними відходами мають комплексний і системний характер та охоплюють фінансові, організаційні й інфраструктурні аспекти. Взаємозв'язок причин і наслідків свідчить про те, що неналежне фінансування та недостатній рівень розвитку інфраструктури є ключовими чинниками, які зумовлюють порушення вимог поводження з відходами та посилення негативного впливу на довкілля. У зв'язку з цим вирішення зазначених проблем потребує впровадження комплексного підходу. Проблема поводження з медичними відходами в Житомирській області має виражений регіональний характер і характеризується низкою системних недоліків. Згідно з

регіональними планами управління відходами, медичні відходи належать до категорії небезпечних і утворюються у закладах охорони здоров'я поряд з іншими видами відходів I-III класів небезпеки, однак ефективність їх обліку, контролю та подальшого поводження залишається обмеженою [4].

Сучасний стан системи управління медичними відходами в області ускладнюється недостатнім розвитком інфраструктури та організаційними проблемами. Зокрема, фіксуються випадки порушення правил поводження з небезпечними відходами, включаючи несанкціоноване їх складування поблизу полігонів твердих побутових відходів, де серед сміття виявлялися медичні матеріали (шприци, крапельниці тощо) [5]. Такі ситуації свідчать про недостатній контроль за діяльністю суб'єктів господарювання та недотримання вимог екологічної безпеки. Додатковою проблемою є економічні та організаційні обмеження функціонування системи управління відходами. Зокрема, навіть наявні підприємства з переробки відходів опиняються під загрозою зупинки через неврегульованість тарифної політики та зростання витрат, що негативно впливає на всю систему поводження з відходами в регіоні [6]. У таких умовах медичні відходи можуть накопичуватися або потрапляти до загального потоку відходів, що підвищує ризики для довкілля.

З огляду на виявлені проблеми у сфері поводження з медичними відходами в Житомирській області, виникає необхідність впровадження ефективних управлінських рішень, спрямованих на підвищення рівня екологічної безпеки та відповідності сучасним нормативним вимогам. Комплексний підхід до вдосконалення системи управління медичними відходами передбачає реалізацію організаційних, технічних та економічних заходів (табл. 2).

Таблиця 2

Напрями вдосконалення управління медичними відходами в Житомирській області

Напрямок	Сутність заходу	Очікуваний результат
Розвиток інфраструктури	Створення регіонального підприємства з утилізації/спалювання медичних відходів	Зменшення обсягів накопичення та витрат на транспортування
Впровадження сортування	Організація роздільного збору медичних відходів у ЗОЗ	Підвищення ефективності утилізації та можливість переробки
Розвиток переробки	Створення потужностей для переробки скла, пластику, паперу	Раціональне використання ресурсів
Фінансова підтримка	Передбачення цільового фінансування у бюджетах	Забезпечення виконання нормативних вимог
Оптимізація логістики	Скорочення відстаней транспортування, локалізація обробки	Зменшення витрат та часу
Посилення контролю	Моніторинг дотримання норм поводження з відходами	Зменшення порушень
Освітні заходи	Підвищення кваліфікації персоналу ЗОЗ	Покращення практики поводження з відходами
Залучення інвестицій	Створення умов для державно-приватного партнерства	Розвиток галузі та створення робочих місць

Запропоновані напрями вдосконалення управління медичними відходами мають комплексний характер і спрямовані на усунення ключових проблем, притаманних регіональній системі поводження з небезпечними відходами. Їх реалізація дозволить не лише підвищити рівень екологічної безпеки, а й забезпечити ефективне використання ресурсів, зменшити фінансове навантаження на заклади охорони здоров'я та наблизити систему управління відходами до європейських стандартів. Таким чином, впровадження зазначених заходів є важливим кроком до формування сучасної, ефективної та екологічно безпечної системи поводження з медичними відходами в Житомирській області.

Список використаних джерел:

1. Всесвітня організація охорони здоров'я. URL: <https://surl.li/bxehda> (дата звернення 10.04.2026 р.).
2. «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Порядок управління медичними відходами, у тому числі вимоги щодо безпечності для здоров'я людини під час утворення, збирання, зберігання, перевезення, оброблення таких відходів». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MN029197> (дата звернення 15.04.2026 р.).
3. Наказ від 08.06.2015 № 325 Про затвердження Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=92797 (дата звернення 15.04.2026 р.).
4. Регіональний план управління відходами в Житомирській області до 2030 року. URL: <https://surl.li/lnfzue> (дата звернення 08.04.2026 р.).
5. У Житомирі поліцію та екологів викликали на місце скиду побутових відходів поблизу міського сміттєзвалища. URL: <https://surl.li/aoscau> (дата звернення 08.04.2026 р.).
6. Сміттевий колапс у Житомирі: перший в Україні завод із переробки відходів може закритися через бездіяльність міськради. URL: <https://surl.li/wdbrqs> (дата звернення 08.04.2026 р.).

**Лотарєва Д.В., студентка четвертого курсу академічної групи ПО 4/1,
інженерно-енергетичного факультет
Науковий керівник: Курепін В.М., к.е.н., доц.
Миколаївський національний аграрний університет**

ОПТИМІЗАЦІЯ ВОДОКОРИСТУВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ПІВДЕННОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЦИКЛІВ

Дефіцит прісної води на півдні України напряму пов'язаний як із природними, так і з антропогенними факторами. Такі регіони, як Миколаївська область, Херсонська область та Одеська область мають відчутну тенденцію до зменшення об'єму прісної води. Значно підсилює випаровування води у регіоні характерний посушливий клімат із невеликою кількістю опадів і високих температур влітку.

Останні п'ять років ситуація ускладнюється зміною клімату: періоди посух стають довшими, а кількість опадів нерівномірна та часто недостатня для поповнення водних ресурсів. Підсилює негативний фактор - зменшення стоку великих річок, зокрема Дніпро, Південний Буг, Інгул, які традиційно забезпечували водою значну частину південних регіонів.

Додаткове навантаження на водні ресурси дає інтенсивне сільське господарство [1, с. 147]. В умовах дефіциту забір великих обсягів води призводить до виснаження як поверхневих, так і підземних джерел. В областях південного регіону України після скорочення доступу до традиційних систем зрошення аграрії змушені бурити додаткові свердловини, що поступово знижує рівень ґрунтових вод і погіршує їх якість через засолення. У місті Миколаєві, проблеми з водопостачанням проявляються у вигляді перебоїв чи необхідності використання альтернативних джерел води [2, с. 238], що підкреслює вразливість існуючої інфраструктури.

Така ситуація потребує відновлення та повторне використання води. Це ефективний інструмент зменшення навантаження на природні водні ресурси. Особливо важливо налагодити очищення стічних вод до рівня, придатного для повторного використання, та їх застосування у господарських чи виробничих процесах. У міських умовах очищена «сіра» вода була би придатна для технічних потреб - полив зелених зон, миття доріг тощо. Це дозволяє зменшити споживання питної води у декілька раз. Значно зекономити ресурси у сільському господарстві може використання очищених стічних вод разом із впровадження систем крапельного зрошення. На додаток це ще у посушливих умовах підвищує ефективність водокористування [3, с. 133].

Для підприємств можна запропонувати впровадження замкнених систем водопостачання, де вода після очищення використовується повторно у виробничому циклі. Впровадження замкнених систем водопостачання для підприємств південного регіону України є практичною необхідністю. На переробних підприємствах харчової промисловості у Миколаїв та Одесі, вода активно використовується для миття сировини, обладнання та тари. За рахунок впровадження локальних очисних станцій з біологічною та мембранною очисткою вода повторно використовується для технічних потреб -для охолодження обладнання.

На багатьох підприємствах Миколаєва та Одеси функціонують замкнені системи оборотного водопостачання з градирнями, де вода циркулює по колу, проходить очищення від домішок і знову використовується в технологічному процесі. Це дозволяє економити значні обсяги води, вимкнувши постійний забір води з природних джерел [4, с. 82].

У Херсонській області, де вода критично важлива для зрошення, сільськогосподарські підприємства активно впроваджують системи повторного використання дренажних вод. Вода, що стікає з полів після поливу, збирається у спеціальні резервуари, потім проходить природне очищення і повторно використовується для крапельного зрошення. Виноградарі Одеська область також має потенціал для замкнених водних циклів. Вода, яку вони використовують для миття обладнання та бродильних ємностей, проходить очищення, та застосовується для технічних операцій або зрошення виноградників.

На підприємствах теплоенергетики вода використовується для охолодження. Перехід на оборотні системи на таких підприємствах Одещині та Миколаївщині дозволяє зменшити як водоспоживання, так і теплове забруднення водойм. Вода не скидається у великій кількості назад у річки чи лимани, вона залишається у технологічних процесах зазначених виробництв [5, с. 198]. Окрему перспективу має збір та використання дощової води, яка може бути корисною для побутових та технічних потреб у приватному секторі та міській інфраструктурі.

В умовах зростання дефіциту прісної води технології очищення та відновлення води можуть забезпечити повернення використаної води у господарський обіг, тим самим зменшити навантаження на природні джерела [6, с. 100]. У міських очисних спорудах, на промислових підприємствах -харчовій, будівельній галузях півдня України, застосовуються багатоступеневий метод очищення.

Початковий етап механічного очищення спрямований на видалення великих та нерозчинних домішок. Вода проходячи через решітки, сита та фільтри, очищується від частинок мусору, піску та інших твердих включень. Потім під час відстоювання важкі частинки осідають на дно під дією сили тяжіння.

Біологічне очищення, зазвичай, використовується після механічного етапу. Органічне забруднення води розкладається спеціальними бактеріями (мікроорганізми), які перетворюють забруднення у безпечніші сполуки. Цей процес відбувається в біофільтрах, де створюються оптимальні умови для життєдіяльності мікроорганізмів.

Ще один метод - хімічне очищення. Він застосовується для видалення дрібнодисперсних та розчинених речовин після того коли застосовані механічні та біологічні методи не надали необхідного ефекту. Спеціальні реагенти, які у процесі коагуляції додаються до води, сприяють злипанню дрібних частинок у більші агрегати, які потім легко видаляються. Знезараження за допомогою окисників (наприклад - хлору), дозволяє знищити патогенні мікроорганізми.

Ефективність очищення води підвищують сучасні мембранні технології. Наприклад, зворотний осмос, шляхом пропускання води через напівпроникну мембрану під тиском, дозволяє удалити найдрібніші розчинені речовини, у тому числі солі та мікроорганізми. У свою чергу, ультрафільтрація може бути ефективною для знищення бактерій і великих органічних молекул. Технології такого плану широко застосовуються як у промисловості [7, с. 89], так й у системах підготовки питної води, де потрібна висока якість очищення.

Сучасним та безпечним методом дезінфекції є ультрафіолетове знезараження. Ультрафіолетове випромінювання руйнує ДНК мікроорганізмів, що унеможливує їх подальше розмноження. На відміну від хімічних методів, цей підхід не потребує додавання реагентів. Він не змінює хімічний склад води, тому його використання є особливо привабливим для екологічно орієнтованих систем водоочищення.

Отже, дефіцит прісної води на півдні України потребує дієвих заходів щодо управління водними ресурсами. Відновлення та повторне використання води для економіки південного регіону України стає ключовим елементом відновлення природних водних ресурсів, оскільки дозволяють не лише зменшити залежність від обмежених природних джерел, а й підвищити стійкість регіону до кліматичних змін та економічних викликів.

Список використаних джерел:

1. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868>.
2. Мельничук Д. В. Забруднення підземних вод на територіях міст та населених пунктів. Гірничі, будівельні, природоохоронні технології та екологія: тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки (м. Житомир, 12-17 травня 2025 р.). Житомир : Житомирська політехніка, 2025. С. 238-239. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21906>.
3. Kurepin V. M. The eu black sea strategy as a tool for shaping regional security: analysis of approaches to containing russia. Maritime security of the Baltic-Black Sea region: challenges and threats: V International scientific conference : conference proceedings (November 26, 2025, Odesa, Ukraine). Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2025. С. 132-135. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24225>.
4. Курепін В. М., Курепін В. М. Функціонування агропідприємств Миколаївської області в умовах воєнного стану // Екологічні та соціальні аспекти розвитку економіки в умовах євроінтеграції : матеріали Х всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 25-27 жовтня 2023 року). Миколаїв : МНАУ, 2023. С 80-83. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15754>.
5. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130>.
6. Орешко К. Ф., Курепін В. М. Безпечне існування міста: проблеми, компроміси. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України : матеріали Х всеукраїнської заочної науково-практичної конференції. Київ : УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. С. 100-101. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17495>.
7. Іваненко В. С. Екокроки для відновлення природи України після війни. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 28-30 травня 2025 р.) / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв: МНАУ, 2025. С. 88-90. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-27>.

Лугош І.І., аспірант 3 року підготовки,
Навчально-науковий інститут хімії та екології
Науковий керівник: Сухарев С.М., д.х.н., проф.

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВОД ОЗЕРА СИНЕВИР

Озеро Синевир (Морське Око) є найбільшим озером Українських Карпат і є найбільш відвідуваним об'єктом НПП «Синевир». Озеро є гірським, його вода вважається одним з еталонів якості природних вод. Озеро Синевир живиться за рахунок 4 потічків (загальна площа дренування 1,96 км²; 85,3%), з озера бере виток 1 струмок. Озеро Синевир є гірським і має виражену мілководну та глибоководну ділянки. Незважаючи на охоронний статус, туристична привабливість озера Синевир може стати причиною антропогенного навантаження на нього. За офіційними даними, кількість відвідувачів НПП «Синевир» (практично всі туристи відвідують озеро Синевир) у 2024 році - 149,6 тис. осіб, у 2025 році - 142,8 тис. осіб. Середня площа озера становить 0,045 км², тому розрахована рекреаційна місткість регульованої зони рекреації становить: літній період - 613 осіб, цілорічний період - 2136 осіб. З огляду на це, має місце значне туристично-рекреаційне навантаження на озеро Синевир, яке у десятки разів перевищує допустиме. Протягом останніх кількох років у весняно-осінній період спостерігається незначне «цвітіння» (евтрофікація) води окремих ділянок озера, тому метою даного дослідження є вивчення параметрів якості води озера Синевир.

Оцінка якості води озера Синевир проводилася за окремими гідрохімічними та мікробіологічними показниками. Дослідження проведено протягом року (охоплено всі сезони), з періодичністю один раз на три місяці. Ділянки відбору проб охоплювали точки впадання потічків (поверхня озера), витoku струмка (поверхня озера) та найбільш глибоководну ділянку озера (до глибини 20,5 м). Проведені дослідження показали:

- величина рН поверхневої води озера коливається у межах 7,4÷7,7, проте з глибиною вона зменшується до 6,7 (20,5 м);
- загальна мінералізація поверхневої води озера у різні періоди року є у межах 107÷189 мг/л, на глибоководній ділянці озера мінералізація води становить 181÷185 мг/л;
- аніонно-катионний склад води озера традиційний для Закарпатської області (гідрогенкарбонатно-натрієвий: HCO₃⁻ - 43÷68 мг/л; Na⁺ - 12÷39 мг/л), але з відносно підвищеною концентрацією сульфатів (18÷62 мг/л), причому найбільші концентрації сульфатів спостерігаються на глибоководі;
- вміст загального заліза у воді озера є в межах норми, хоча в окремих зразках води концентрація заліза досягала 01,15 мг/л;
- концентрація розчиненого кисню є у межах норми, проте вона суттєво відрізняється для вод з поверхні озера та глибини;
- вміст нафтопродуктів не виявлений, вміст неорганічних сполук Нітрогену (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) у поверхневих водах ділянок впадання потічків не виявлено, проте на глибоководній ділянці (від поверхні - до глибини 20,5 м) спостерігається досить високий вміст нітратів (до 26,3 мг/л) та амонію (до 1,2 мг/л) у літній період;
- величина БСК₅ у поверхневих водах глибоководної ділянки озера досягає величини 4,3 мгО₂/л;
- серед мікробіологічних показників якості води озера відхилень від норми не виявлено, зафіксовані поодинокі випадки росту (загальне число мікроорганізмів) та одиничні виявлення термостабільних кишкових паличок у літній період.

Розрахунок індексу забруднення води (ІЗВ) за гідрохімічними параметрами показав, що значення ІЗВ для різних сезонів коливається у межах 0,43÷0,74 (критерії якості води обирались для водойм рибогосподарського призначення).

Аналіз дослідження якості води озера Синевир показує, що вода має відносно стабільний хімічний склад, проте занепокоєння викликають значення кількох показників, а саме - вміст нітратів та амонію; величина БСК₅, а також поодинокі випадки присутності термостабільних кишкових паличок. Це свідчить про зростання антропогенного впливу на озеро Синевир за рахунок туристично-рекреаційної діяльності, у т.ч. функціонування біля озера суб'єктів господарювання.

Дослідження якості води, яка відтиснута з намулу мілководної частини озера, показує зростання мінералізації води до 700÷800 мг/л за рахунок зростання концентрації гідрогенкарбонатів (до 500 мг/л) та катіонів Na⁺ (до 75÷80 мг/л) і Ca²⁺ (до 90÷110 мг/л). В той же час, вміст забруднювальних речовин (неорганічні сполук Нітрогену) у воді не виявлено. Це свідчить про те, що присутність у воді озера Синевир окремих забруднювальних речовин, зумовлено антропогенною діяльністю.

Тому, на жаль, воду озера Синевир вже не можна вважати еталоном якості природних вод, чому сприяє антропогенна діяльність.

Магдій А.О., студентка 2 курсу, група ТЗ-24-1,
факультет Нафтогазової інженерії
Науковий керівник: Фомічова О.В., к.х.н., доц.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПОЛІМЕРНИМИ СОРБЕНТАМИ

У процесі виробництва карбамідоформальдегідних смол утворюються побічні продукти - олігомерні частинки дрібнодисперсної структури з розвиненою питомою поверхнею. Такі частинки мають виражені сорбційні властивості і здатні ефективно адсорбувати нафтові та масляні забруднення.

Однак після адсорбції нафтопродуктів виникає проблема подальшого використання або утилізації насиченого сорбенту. Традиційним, але екологічно недоцільним рішенням було його спалювання, що призводить до втрати цінного матеріалу та додаткового антропогенного навантаження на довкілля. Отже, існує необхідність пошуку екологічно та економічно доцільних способів повторного використання сорбентів, насичених нафтопродуктами. Нафтові та масляні забруднення є поширеними техногенними забруднювачами, особливо у водних об'єктах. Водночас актуальною проблемою залишається низька довговічність асфальтових покриттів, які після зимового періоду руйнуються під дією вологи, температурних коливань і механічних навантажень. Тому важливим є пошук технологій, що дозволяють одночасно утилізувати сорбенти з нафтосумішами, адсорбованими з водних об'єктів, та покращувати властивості асфальтобетону. Такий підхід відповідає принципам циркулярної економіки та апсайклінгу матеріалів. Аналіз наукових публікацій щодо використання сучасних сорбентів для вилучення нафтопродуктів із водних та ґрунтових середовищ показав можливість екологічно безпечного їх використання [1]. Окрему увагу заслуговують технології виробництва карбамідоформальдегідних олігомерів та можливостям використання їх в якості сорбційних матеріалів [2]. Досліджено також існуючі методи утилізації нафтовмісних відходів та визначено найбільш доцільні підходи до їх повторного використання. Сутність дослідження полягає у встановленні закономірностей сорбційного вилучення забруднювачів із використанням полімерних сорбентів шляхом оцінювання їх сорбційної ємності, кінетики сорбції та ступеня насичення, що дозволяє визначити ефективність і доцільність їх практичного застосування в технологіях очищення. Експериментальні дослідження включали відбір зразків асфальтобетонних сумішей, зокрема модифікованих та традиційних, з метою їх подальшого порівняння. Підготовка проб здійснювалася відповідно до вимог лабораторного аналізу з формуванням стандартних зразків (циліндричних і брусків) для випробувань адгезійних властивостей, водостійкості та міцності.

Адгезійні характеристики визначали методом відділення бітуму від мінерального наповнювача в умовах водного середовища (випробування за методикою киплячої води ASTM D3625, а також оцінка розтягувальної міцності після впливу вологи за ASTM D4867).

Водостійкість покриттів оцінювали за зміною фізико-механічних властивостей після насичення водою та циклів заморожування-розморожування. Міцність асфальтобетонних сумішей визначали за показниками стиску та розтягу відповідно до стандартних методик (ДСТУ Б В.2.7-319:2016). Отримані результати порівнювали з вимогами чинних нормативних документів (ДСТУ 8959:2019, ДСТУ 9281:2024, ДБН В.2.3-4:2015), що дозволило оцінити відповідність досліджуваних матеріалів експлуатаційним характеристикам. Встановлено, що модифіковані асфальтобетонні суміші демонструють покращені адгезійні властивості та підвищену водостійкість порівняно з традиційними аналогами. Водночас варіативність отриманих показників залежить від складу суміші та умов експлуатації. Окрім експериментальних досліджень, здійснено аналіз факторів, що впливають на отримані результати. Зокрема, розглянуто вплив типу бітуму, модифікуючих добавок і гранулометричного складу мінерального заповнювача на адгезію, водостійкість і міцність покриттів. Встановлено взаємозв'язок між структурними характеристиками асфальтобетонних сумішей та їх експлуатаційними властивостями.

За результатами дослідження обґрунтовано ефективність використання полімерних сорбентів для очищення забруднених середовищ. Встановлено ключові сорбційні параметри, що підтверджують їх перспективність для практичного застосування в технологіях очищення стічних вод.

Список використаних джерел:

1. Кричовська Л.В. та ін. Сорбційні процеси очищення вод від нафтопродуктів. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. -104.с.
2. Yulchieva M. G., Turaev Kh. Kh., Kasimov Sh. A., et al. *Research on the Synthesis of Nitrogen-Containing Sorbents*. International Journal of Engineering Trends and Technology, 2023, Vol. 71(8), pp. 161-167.

УДК 631.147:631.171:504.06(477)

Максімов Д.О., студент IV курсу, групи ЗТЗНС-23к,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD,
ст. викладач кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ВИРОБНИЦТВА БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Сучасний розвиток аграрного сектору України характеризується активним впровадженням інноваційних технологій, що спрямовані на підвищення ефективності виробництва та забезпечення екологічно безпечної продукції. У контексті глобальних екологічних викликів і зростаючих вимог до якості харчових продуктів питання інтеграції інновацій у сільське господарство набуває особливої актуальності. Це зумовлює необхідність комплексної оцінки впливу новітніх технологій на обсяги виробництва екологічно безпечної аграрної продукції [1].

Інноваційні технології в аграрному секторі охоплюють широкий спектр рішень, серед яких важливе місце займають технології точного землеробства, цифрові системи моніторингу, біотехнології, органічне виробництво та ресурсозберігаючі методи обробки ґрунту. Технології точного землеробства дозволяють оптимізувати використання добрив, засобів захисту рослин і водних ресурсів шляхом застосування GPS-навігації, сенсорів та аналітичних платформ.

Важливим напрямом інновацій є використання біологічних засобів захисту рослин та біодобрив, які дозволяють зменшити залежність від хімічних препаратів. Біотехнології сприяють підвищенню стійкості культур до хвороб і несприятливих кліматичних умов, що, у свою чергу, забезпечує стабільність виробництва та підвищення його екологічної безпечності [1]. Органічне землеробство також виступає одним із ключових елементів екологізації аграрного виробництва, оскільки передбачає відмову від синтетичних агрохімікатів та орієнтацію на природні процеси.

Завпровадження інноваційних технологій позитивно впливає на якість аграрної продукції, зменшуючи вміст залишкових пестицидів, нітратів та інших небезпечних речовин. Крім того, використання сучасних технологій сприяє підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат ресурсів та покращенню управління агровиробництвом. Це створює передумови для підвищення конкурентоспроможності української аграрної продукції на міжнародних ринках.

Оцінка впливу інноваційних технологій на виробництво екологічно безпечної продукції передбачає використання комплексного підходу, що включає аналіз екологічних, економічних та соціальних показників. Зокрема, оцінюється рівень зниження використання агрохімікатів, зміни у стані ґрунтів, водних ресурсів, а також рівень екологічної безпечності кінцевої продукції. Важливим є також врахування економічної ефективності впровадження інновацій та їх доступності для аграрних підприємств різного масштабу [2].

Разом із тим, впровадження інновацій у аграрному секторі України супроводжується певними викликами, зокрема недостатнім рівнем інвестицій, обмеженим доступом до сучасних технологій для малих і середніх господарств, а також потребою у підвищенні рівня кваліфікації кадрів. Це вимагає формування ефективної державної політики підтримки інноваційного розвитку аграрного сектору, включаючи стимулювання впровадження екологічно орієнтованих технологій.

Таким чином, інноваційні технології відіграють ключову роль у підвищенні обсягів виробництва екологічно безпечної продукції в Україні. Їх впровадження сприяє зниженню негативного впливу на аграрне виробництво на довкілля, покращенню якості продукції та забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору. Комплексна оцінка ефективності даних технологій є необхідною умовою для формування стратегій подальшого розвитку сільського господарства в умовах сучасних екологічних викликів.

Список використаних джерел:

1. Романчук Л.Д., Голуб В.О., Кравчук-Ободзінська Т.В. Біотехнологічні підходи до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах кліматичних змін (на прикладі злакових культур). *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2025. Випуск 5(62). Том 2. С. 179-183. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.29>
2. Алпатова О.М., Кравчук-Ободзінська Т.В., Сікач Т.І. Вплив кліматичних умов і біотехнологій на виробництво екологічно безпечної харчової продукції на прикладі нішевих культур. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. № 145. С. 307-312. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.35>

Малоголовець І.В., студентка 4-го курсу
Науковий керівник: Герасимчук Л.О., к.с.-г.н.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗВИТОК ЕКО-ІНДУСТРІАЛЬНИХ ПАРКІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО ПРОМИСЛОВОГО РОЗВИТКУ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

Сучасний розвиток промисловості супроводжується загостренням екологічних проблем, зростанням ресурсних обмежень і посиленням кліматичних викликів. У цих умовах актуалізується необхідність переходу до моделей сталого розвитку, зокрема через впровадження еко-індустріальних парків (ЕІП). ЕІП розглядаються як інтегровані виробничі системи, у яких підприємства взаємодіють шляхом обміну ресурсами, енергією та відходами, формуючи замкнені цикли виробництва та підвищуючи екологічну ефективність. Концепція ЕІП базується на принципах промислової екології, яка розглядає виробничі системи як аналог природних екосистем. Зазначене передбачає циркуляцію ресурсів, мінімізацію відходів і інтеграцію економічних та екологічних процесів [1-13].

Важливим аспектом є поєднання екологічного та логістичного підходів до управління потоками ресурсів, що дозволяє формувати ефективні регіональні моделі сталого розвитку [6].

Промисловий симбіоз є ключовим механізмом функціонування ЕІП, що передбачає обмін матеріальними та енергетичними потоками між підприємствами. Такий підхід забезпечує: зниження витрат на ресурси; зменшення обсягів відходів; підвищення ефективності виробництва [7].

Сучасні дослідження також акцентують увагу на структурі мереж взаємодії підприємств. Зокрема, підвищення показника вкладеності (nestedness) сприяє більш ефективному використанню ресурсів і підвищенню стійкості системи [2, 12].

Одним із ключових напрямів розвитку ЕІП є використання математичних моделей для оптимізації ресурсних потоків. Застосування оптимізаційних моделей дозволяє: мінімізувати використання первинних ресурсів; оптимізувати обмін водою та енергією; підвищити економічну ефективність [1]. Особливу роль відіграє управління водними ресурсами, що є критично важливим для забезпечення екологічної стійкості ЕІП [8].

ЕІП є важливим інструментом реалізації кліматичної політики та досягнення цілей декарбонізації, адже вони сприяють: скороченню викидів CO₂; підвищенню енергоефективності; переходу до відновлюваних джерел енергії [5]. Моделювання сценаріїв розвитку ЕІП показує, що впровадження політик декарбонізації дозволяє досягати пікових значень викидів у короткостроковій перспективі [9, 13].

Ефективність ЕІП визначається комплексом взаємопов'язаних факторів (рис. 1).

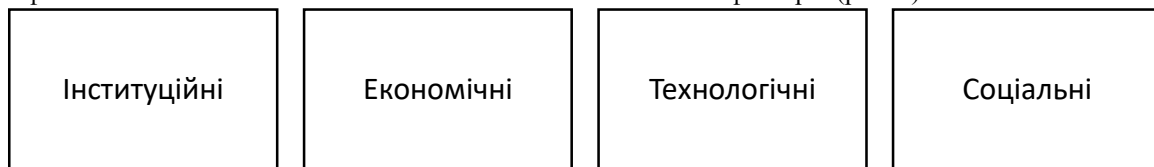


Рис. 1. Фактори, що визначають ефективність ЕІП

До інституційних факторів належать:

- державна підтримка;
- ефективна нормативна база;
- стратегічне планування.

Економічними факторами є:

- інвестиційна привабливість;
- доступ до інфраструктури;
- фінансові стимули.

Технологічні фактори включають:

- цифровізацію;
- інновації;
- оптимізаційні моделі.

До соціальних факторів належать:

- кооперація підприємств;
- довіра між учасниками;
- участь громад.

Проте на шляху розвитку ЕІП існує ряд проблем та обмежень розвитку.

Основні бар'єри на шляху розвитку ЕІП представлені на рис. 2.

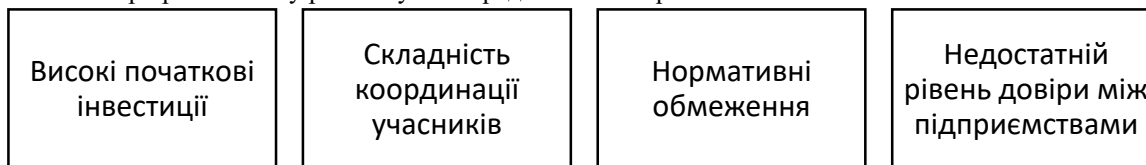


Рис. 2. Основні бар'єри на шляху розвитку

Дослідження показують, що значна частина проєктів ЕІП не досягає очікуваної ефективності через управлінські та організаційні проблеми [1-13].

Перспективи розвитку ЕІП пов'язані з інтеграцією:

- циркулярної економіки;
- цифрових технологій;
- ESG-підходів;
- штучного інтелекту.

Синергія між циркулярною економікою та промисловим симбіозом дозволяє значно підвищити ресурсоефективність і забезпечити сталий розвиток.

В цілому ЕІП є ефективним інструментом трансформації промисловості у напрямі сталого розвитку. Вони забезпечують підвищення ресурсоефективності, зниження викидів та розвиток циркулярної економіки. Разом з тим, їх ефективність залежить від інтеграції інституційних, економічних та технологічних факторів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку інтегрованих моделей управління ЕІП із використанням цифрових технологій.

Список використаних джерел:

1. Al-Fadhli F. M., Vaaqeel H., El-Halwagi M. M. Designing an eco-industrial park with planning over a time horizon. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 2020. Vol. 8, no. 49. P. 18324-18334. DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c07061.
2. Brehm C., Layton A. Nestedness of eco-industrial networks: Exploring linkage distribution to promote sustainable industrial growth. *Journal of Industrial Ecology*. 2021. Vol. 25, no. 1. P. 205-218. DOI: 10.1111/jiec.13057.
3. Domenico M. D., Auktor G., Bogran G., Denti A.B., Lapi M. EIP governance for local symbiosis. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2024. Vol. 11 (4). P. 513-520.
4. Dutt S., Purwanto P., Sudarno S. Synergizing circular economy and eco-industrial park concepts. *E3S Web of Conferences*. 2025. Vol. 650. DOI: 10.1051/e3sconf/202565002013.
5. Liu L., Wang H., Cui X., Liu B., Jiang Y. Green location-oriented policies and carbon efficiency. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30 (21). P. 59991-60008. DOI: 10.1007/s11356-023-26698-8.
6. Mishenin Y., Koblianska I., Medvid V., Maistrenko Y. Sustainable regional development policy formation. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2018. Vol. 6, no. 1. P. 329-341. DOI: 10.9770/jesi.2018.6.1(20).
7. Munonye W.C., Ajonye G.O., Akinloye O.A. Industrial symbiosis in circular economies. *Discover Sustainability*. 2025. Vol. 6 (1), art. no. 1371. DOI: 10.1007/s43621-025-02127-3.
8. Ramin E., Faria L., Gargalo C.L., Ramin P., Flores-Alsina X., Andersen M.M., Gernaey K.V. Water innovation in industrial symbiosis - A global review. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 349, art. no. 119578. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119578.
9. Sun Y., Zhang S., Li Y., Ning J., Liu F., Feng Z., Fu H. Evolutionary characteristics of industrial parks from a carbon neutrality perspective. *Sustainability*. 2024. Vol. 16 (14), art. no. 6065. DOI: 10.3390/su16146065.
10. Xiang G. P., Ning P., Huang W., Shi L. The migration footprint of industrial ecology research. *Acta Ecologica Sinica*. 2016. Vol. 36, no. 22. P. 7168-7178. DOI: 10.5846/stxb201507071442.
12. Xie X., Wei B., Hu S., Chen D. J. Integrated network analysis on industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 429, art. no. 139235. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139235.
13. Yuan Y., Wang F., Sun L., Liu W., Du C., Wang C., Yao Y. Promote the decarbonization pathways of eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 450, art. no. 141989. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.141989.

Манжук О.О., студ., I курс, група ТЗНС - 45
Райковська І.Л., студ., I курс, група ТЗНС - 45
Рожанська А.О., студ., I курс, група ТЗНС - 45
факультет гірничої справи природокористування та будівництва
Науковий керівник: Скиба Г.В., к.т.н., доц.,
доц. кафедри сталої інфраструктури та гідроекології
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТИХ ТА ПІЩАНИХ ҐРУНТІВ ЗА УМОВ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПУЛЬПОЮ

Інтенсивний розвиток промисловості супроводжується накопиченням значної кількості відходів, серед яких особливу увагу привертає пульпа - неоднорідна суспензія твердих часток у рідкій фазі, що утворюється під час збагачення сировини та обробки каменю. Потрапляння пульпи у природні екосистеми спричиняє деградацію ґрунтового покриву, зміну його фізико-хімічних властивостей та пригнічення росту рослин [1]. У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу пульпи на біологічну активність різних типів ґрунтів та визначення їхньої здатності нейтралізувати техногенне навантаження.

Метою роботи була порівняльна оцінка біологічної активності дерново-підзолистого ґрунту та піщаного субстрату (кварцового піску) за умов забруднення пульпою в концентраціях 5 %, 10 %, 20 % та 50 % від маси субстрату. Біоіндикатором стану середовища обрано овес посівний (*Avena sativa*). Оцінювали такі показники: енергія проростання; лабораторна схожість насіння; довжина кореневої системи проростків.

Реакція тест-рослин безпосередньо залежала від типу субстрату. У контрольних варіантах дерново-підзолистий ґрунт забезпечував вищі показники розвитку порівняно з піском завдяки кращій вологомісткості та вмісту органічних речовин. При концентрації 10 % у ґрунті істотних змін не зафіксовано, тоді як у піску вже спостерігалось зниження енергії проростання. При концентрації 20 % негативний вплив посилювався. У піщаному субстраті довжина коренів скоротилася майже вдвічі, тоді як у дерново-підзолистому ґрунті зміни були менш вираженими. Концентрації 50 %: призвела до різкого пригнічення всіх показників в обох варіантах, проте ґрунт зберіг відносно вищу життєздатність проростків порівняно з піском.

Тип середовища суттєво впливає на біологічну активність за умов забруднення пульпою. Дерново-підзолистий ґрунт характеризується більшою екологічною стійкістю завдяки буферним властивостям. Буферність ґрунту необхідно враховувати при проведенні хімічної меліорації вапнуванні та гіпсуванні. Буферна здатність є одним із елементів родючості ґрунтів.

Вища екологічна стійкість дерново-підзолистого ґрунту зумовлена його буферною здатністю, яка залежить від гранулометричного складу та вмісту гумусу. Буферність дозволяє нівелювати токсичну дію забруднювачів, що є критично важливим показником родючості та стійкості екосистеми до антропогенного впливу [2].

Висновки:

1. Біологічна активність субстратів за умов забруднення пульпою залежить від їхнього типу та концентрації токсиканта.
2. Дерново-підзолистий ґрунт є значно стійкішим до навантаження порівняно з піщаним субстратом завдяки вищим буферним властивостям.
3. Критичним рівнем забруднення для обох типів субстратів є концентрація пульпи понад 20 %, тоді як вміст до 10 % є відносно безпечним для початкових етапів онтогенезу вівса посівного.
4. Отримані дані слід враховувати під час оцінки екологічного стану територій та розробки планів рекультивациі порушених земель.

Список використаних джерел:

1. Мельник-Шамрай В. В., Шамрай В. І., Пацева І. Г., Ігнатюк Р. М. Оцінка впливу гірничо-виробничої галузі на довкілля: система управління відходами // Екологічні науки. - 2024. - № 4 (55). - С. 164-168. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.26>
2. Сікач Т. І., Шихненко К. О. Пульпа як вторинний ресурс: біоіндикаційна оцінка її впливу на продуктивність різних типів ґрунтів // Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України : зб. тез Міжнар. наук.-практ. конф. (22-26 верес. 2025 р., м. Житомир). - Житомир : Житомирська політехніка, 2025. - С. 198.
URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/10/198.pdf>

Маслюк О.І., студентка 1-го курсу
Науковий керівник: Холодова Н.О., викладач-методист
Харківський фаховий коледж технологій та дизайну

СТІЙКІСТЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ

В ієрархії екологічних знань екосистема розглядається як фундаментальний функціональний вузол. Саме на цьому рівні інтегруються процеси біогенезу, трансформації енергії та циркуляції інформаційних потоків між компонентами живої природи.

Здатність природного комплексу зберігати структурну цілісність під тиском зовнішніх чинників визначає його стійкість. Завдяки внутрішній саморегуляції, системи здатні або нівелювати деструктивний вплив, або оперативно регенерувати після тимчасової дестабілізації. В основі цього процесу лежить принцип французького вченого А. Ле Шательє відповідно до якого будь-які зовнішні впливи, що виводять систему зі стану рівноваги, викликають у цій системі процеси, що намагаються послабити зовнішній вплив і повернути систему в природний стан. Проте антропогенний пресинг та глобальні катаклізми можуть виснажити цей ресурс, ведучи до незворотної деградації біорізноманіття [2].

Еволюційний процес передбачає природну ротацію видів: менш адаптовані форми поступаються місцем більш пристосованим, що історично сприяло нарощенню біосферного різноманіття. Однак різке руйнування біогеоценозів через природні катаклізми або антропогенну діяльність порушує цей баланс. За таких умов темпи втрати біоти перевищують швидкість її регенерації, що загрожує системним колапсом екосистеми та остаточною втратою її біологічного потенціалу.

Руйнування зав'язків у середині екосистеми через зовнішнє втручання робить процес відновлення неможливим. У такому разі ми маємо справу не з розвитком, а з деструкцією, яка залишає після себе виснажені та функціонально неспроможні території.

Деструктивний антропогенний пресинг та стихійні лиха провакують критичне спрощення структури екосистем. Коли поріг стійкості перейдено, система втрачає здатність до самовідновлення, що призводить до її повної деградації та збіднення біорізноманіття.

Відновлення екосистеми - це передусім шлях до реабілітації природного ландшафту, який зазнав руйнувань. Природа має здатність самостійно оновлювати свої функції та повертати втрачені види, але цей ресурс не є безмежним. Ефективність регенерації визначається базовим запасом міцності (стійкості) системи, який дозволяє їй повернутися до рівноваги після дестабілізації

Ліс є однією з багатьох видів екосистем, яка має складну, саморегульовану наземну систему, де деревні рослини є основою, а всі живі організми (біота) пов'язані з неживою природою, харчовими ланцюгами та взаємозалежністю [3].

Україна є малолісною країною, проте ліси характеризуються високою біорізноманітністю. У країні переважають соснові (бор), дубові, букові та ялинові ліси. Найбільш лісистими регіонами є Українські Карпати та Полісся.

Аналіз сучасного лісового фонду України показав, що на 2020 рік лісистість України займала приблизно 9,5-10 млн гектарів від загальної площі території держави, що становила 16,7%. Однак станом на 2026 рік відсоток лісистості становить вже близько 15,9%. З цього випливає, що стан лісів України є відносно стабільним за площею, але вони зазнають руйнівного впливу [1].

Збереження площі не означає відсутність проблем. На сьогодні існують певні обставини зменшення лісових екосистем.

Основні виклики останніх років включають: вплив воєнних дій (пожежі від обстрілів, мінування територій, пошкодження дерев уламками тощо); незаконні рубки, які залишаються гострою проблемою для західних регіонів та Полісся; кліматичні зміни (масове всихання хвойних лісів через зміну гідрологічного режиму та поширення шкідників).

Так через природні чинники на сьогодні уражено 12-15% лісів України. Результатом негативного антропогенного впливу охоплено 5-7% лісових масивів. Із-зв активних бойових дій втрачено близько 30% українських лісів, що становить 3 млн гектарів від усіх лісів України. Знищено близько 20% природоохоронних територій України, що призвело до зменшення флори та фауни [1].

Під екосистемним відновленням розуміють повернення деградованих ландшафтів до їхнього первинного біологічного статусу. Цей процес є потужним важелем для поновлення природного балансу, збереження рідкісних видів та відновлення здатності природи забезпечувати ресурси, що були втрачені внаслідок господарської діяльності.

Повернення до природної норми дозволяє не лише зберегти генофонд біосфери, а й відновити функціональні потужності екосистеми, забезпечуючи її подальшу життєздатність.

Найпопулярнішим способом відновлення лісів є їх висадка. В Україні поновлення лісових екосистем часто ґрунтується на застарілих підходах. Зміни клімату, воєнні наслідки потребують змін у відновленні, саме тому старі підходи не працюють.

WWF-Україна вважає, що потрібно змінити пріоритети - саме якість відновлення має стати новим стандартом лісовідновлення держави.

Відома українська експертка у сфері екології Ганна Лобченко стверджує: «Якщо ми сьогодні будемо повторювати ту саму схему, яку втілювали 50 років тому - з відстанню між рослинами, підбором видів - ми маємо розуміти, що ці дерева мають вирости через сто років. Помилку ми побачимо не завтра, а через десятиріччя» [1].

У червні 2023 року підри́в росіянами дамби Каховської гідроелектростанції привело до значної екологічної катастрофи, внаслідок затоплення було уражено близько 50-55 тисяч гектарів лісів Херсонської області. Цікавий приклад відновлення можемо побачити на місці Каховського водосховища. Наслідок катаклізму водночас запустився унікальний процес екологічної рецесії. На дні колишнього водосховища (понад 150 тис. га) виросло вербове «море», яке стрімко стало заростати білою вербою та іншими заплавними видами. Молодий ліс демонструє надзвичайну швидкість росту, що сприяє утриманню ґрунту та запобіганню пиловим бурям. Ця модель показує здатність природи до самовідновлення без втручання людини.

Стресостійкість екосистеми прямо пропорційна її біологічній складності. У практиці лісорозведення це означає необхідність відмови від висадки однорідних масивів на користь змішаних лісів. Такий підхід формує «імунну систему» ландшафту, роблячи його менш вразливим до шкідників, хвороб чи кліматичних аномалій.

До основних шляхів відновлення лісів можна віднести, перш за все, - природне поновлення: надання пріоритету самостійному відновленню лісу на ділянках, де це можливо, для збереження генетичного різноманіття. Також створення лісонасінневих центрів для використання сучасних технологій вирощування сіянців із закритою кореневою системою.

Державна екологічна програма «Зелена країна», ініційована Президентом у 2021 році, ставила за мету збільшити площу лісів на 1 млн гектарів за 10 років та висадити 1 мільярд нових дерев за 3 роки. Цей проєкт, спрямований на відновлення лісів, боротьбу зі зміною клімату та збереження біорізноманіття. Попри війну, лісова галузь продовжує роботу, а програма «Зелена країна» стала важливою ініціативою для відновлення екосистем [1].

Лісові екосистеми України наразі перебувають під критичним тиском, зумовленим як кліматичними змінами, так і масштабними наслідками воєнних дій, що призвели до втрати близько 30% лісових масивів.

Встановлено, що стійкість лісу безпосередньо залежить від рівня його біорізноманіття. Чим складніша структура екосистеми, тим вища її здатність до саморегуляції та адаптації. Збереження стійкості лісів України вимагає переходу від споживчого лісокористування до екосистемного менеджменту.

Відновлення лісів потребує інновацій, завдяки яким можна повернути їх до природного стану, розвиваючи стійкість до негативного впливу та порушень. Аби зменшити відсотки ураження лісів варто тримати такі екосистеми під охороною та впровадити заходи їх очищення.

Список використаних джерел:

1. Державне агентство лісових ресурсів України. URL: <https://forest.gov.ua/>
2. Загальні принципи стійкості екосистем. URL: https://pidru4niki.com/14940511/ekologiya/zagalni_printsipi_stiykosti_ekosistem
3. Ліс як екосистема. URL: <https://ua.izzi.digital/DOS/306708/355706.html>

УДК 502.51:556.5(477.42)

**Мосейко В.М., студент спеціальності «Науки про Землю», група ЗНЗ-22,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Науковий керівник: Васільєва Л.А., к.б.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

РІЧКИ ЯК СПОЛУЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЕКОМЕРЕЖІ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

В умовах інтенсивного антропогенного впливу на природне середовище збереження біологічного різноманіття та підтримання екологічної рівноваги є одними з найактуальніших завдань сучасного природокористування. Одним із провідних інструментів вирішення цих завдань є формування екологічної мережі - єдиної територіальної системи взаємопов'язаних природних і напівприродних територій, що забезпечують збереження біорізноманіття та функціонування природних екосистем [5].

Особливу роль у структурі екомережі відіграють річки та їхні долини, які виступають природними екологічними коридорами, що з'єднують ключові природні ядра, забезпечують міграцію тварин, поширення рослин та обмін генетичним матеріалом між популяціями. Річкові системи Житомирського Полісся формують розгалужену гідрографічну мережу: найбільшими річками є Тетерів, Случ, Уж, Ірпінь та їхні притоки, що дрениують різноманітні природні ландшафти: лісові масиви, болота, заплавні луки [1].

Метою дослідження є аналіз ролі річкових систем Житомирського Полісся як сполучних елементів екологічної мережі та визначення їхнього значення у формуванні екологічних коридорів.

Відомо, що річкові екокоридори виконують чотири ключові функції: міграційну (забезпечення переміщення тварин між природними ядрами), середовищевітвірну (формування специфічних мікрокліматичних та гідрологічних умов), регуляторну (підтримання водного балансу та якості водних ресурсів) і трофічну (забезпечення харчових ланцюгів водних та прибережних екосистем). Завдяки цим функціям річкові долини формують «екологічний каркас» регіону, що визначає просторову цілісність екомережі [6, 7, 8].

Аналіз сучасного стану річкових екосистем Житомирського Полісся свідчить про їх значну антропогенну трансформацію: осушення заплавлених боліт, регулювання русел, забруднення поверхневих вод та порушення прибережної рослинності суттєво знижують ефективність функціонування екокоридорів [2, 4]. Особливо вразливими є малі річки, прибережні захисні смуги яких нерідко розорані або забудовані.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано комплекс заходів з оптимізації екологічної мережі регіону: ренатуралізація річкових долин і відновлення природної звивистості русел, розширення площ природоохоронних територій уздовж водотоків, відновлення прибережних захисних смуг, обмеження господарської діяльності у водоохоронних зонах, а також включення заплавлених угідь до складу екомережі як відновлюваних територій [3, 6]. Реалізація цих заходів сприятиме збереженню біорізноманіття, підвищенню екологічної стабільності ландшафтів та забезпеченню сталого розвитку Житомирського Полісся.

Список використаних джерел:

1. Басейни річок України - карта. Атлас річок України: інтерактивні карти. URL: <https://river.land.kiev.ua/river-basins.php> (дата звернення: 30.03.2026).
2. Васільєва Л. А. та ін. Гідрографічні особливості, екологічний стан та стійкість водних об'єктів міста Житомир // Екологічні науки. 2025. № 2 (59). С. 1-10.
3. Закон України «Про екологічну мережу України» від 24.06.2004 № 1864-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15> (дата звернення: 30.03.2026).
4. Воловик В. М. та ін. Геоекологічна ситуація на території Житомирської області: аналіз даних за 2019-2024 рр. // Укр. журнал природничих наук. 2025. № 1. С. 15-25.
5. Гродзинський М. Д. Ландшафтна екологія : підручник. Київ : Знання, 2014. 550 с.
6. Мудрак О. В. Збалансований розвиток екомережі Поділля: стан, проблеми, перспективи: монографія Вінниця: «СПД Главацька Р.В.», 2012. - 914 с.
7. Tockner K., Stanford J. A. Riverine flood plains: present state and future trends // Environmental Conservation. 2002. Vol. 29, No. 3. P. 308-330.
8. Ward J. V., Tockner K., Schiemer F. Biodiversity of floodplain river ecosystems // Freshwater Biology. 1999. Vol. 41. P. 299-309.

Мошкіна Т.Є.
студентка 2 курсу, групи ЕО-44
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 101 «Екологія»
Науковий керівник: Демчук Л.І.,
к.пед.н., доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

МІКРОПЛАСТИК У ЛОКАЛЬНИХ ЕКОСИСТЕМАХ М.МАЛИНА

Забруднення довкілля дрібними частинками пластику перетворилося на світову проблему, тоді як вивчення цієї ситуації у невеликих річках Житомирської області залишається неповним. Для міста Малин ця проблема є надзвичайно важливою, зважаючи на значний вплив людської діяльності на річку Іршу, яка постачає воду для технічних та побутових потреб у цій місцевості. Оскільки там бракує сучасних очисних споруд, здатних уловлювати навіть крихітні елементи менше ніж 55 міліметрів, це спричиняє осідання пластмас у резервуарі. З'ясування поточного стану забруднення - це життєво необхідний етап для формування плану екологічної стабільності територіальної громади та збереження різноманіття флори і фауни місцевих водних об'єктів.

Актуальні наукові розробки доводять, що головними чинниками надходження мікропластику у річкові водні артерії є стирання шин транспортних засобів, процес прання текстилю із синтетичних волокон та розпад викинутого пластикового сміття. На думку дослідників, ці полімерні уламки здатні притягувати до себе отруйні сполуки, стаючи своєрідними «агентами проникнення» для мешканців водойм [1]. В межах нашої держави запровадження контролю за рівнем мікропластику лише набирає обертів, зосереджуючись переважно на великих водних шляхах, таких як Дніпро, тоді як менші річки часто лишаються поза увагою [2].

Неабияку загрозу несе явище осадження (седиментації): мікропластикові частинки збираються у донних ґрунтах, де їхня концентрація спроможна перевищувати ту, що фіксується у водній товщі, у десятки разів [3]. Це створює реальну небезпеку для організмів, які мешкають на дні (бентосу), вони ж формують фундамент харчового каскаду. Дані, отримані закордонними колегами, свідчать про те, що уламки вторинного мікропластику (формовані від розпаду більших об'єктів) домінують на територіях із потужним розвиненим виробництвом паперу та харчових продуктів, що цілком стосується і Малина [4].

Впровадження технологій інфрачервоної спектроскопії забезпечує високу точність у визначенні виду полімеру, що є вирішальним моментом для з'ясування джерела забруднення. Згідно з найсвіжішими відомостями, найчастіше зустрічаються поліетилен та поліпропілен [5]. Це акцентує увагу на нагальній потребі перегляду норм та вимог до очищення промислових та побутових стоків.

Об'єктом дослідження було обрано три контрольні точки в межах м. Малина: зона вище за течією (с. Пиріжки), район паперової фабрики та зона поблизу греблі водосховища. Відбір проб води проводився методом фільтрації через нейлонові сітки з розміром чарунок 100 мкм. Встановлено, що найбільша концентрація частинок спостерігається в місцях з низькою швидкістю течії та поблизу зливових стоків. Лабораторний аналіз показав переважання фрагментарних частинок та волокон. Візуальна ідентифікація під мікроскопом виявила значну кількість синіх та прозорих мікроволокон, що ймовірно походять від синтетичного текстилю. У донних відкладах Малинського водосховища зафіксовано накопичення дрібних сфер (мікрокульок), які часто використовуються в побутовій хімії та косметичних засобах. Для систематизації даних було складено порівняльну таблицю концентрацій мікропластику в різних зонах моніторингу (табл. 1).

Таблиця 1

Точка відбору	Тип проби	Концентрація (частинок/м ³)	Домінуючий тип пластику
Вище міста (контроль)	Вода	12±3	Волокна
Район промислової зони	Вода	45±7	Фрагменти, гранули
Малинське водосховище	Донні відклади	112±15 (на1кг)	Плівка, мікросфери

Аналіз отриманих даних з таблиці 1. свідчить про пряму залежність між густиною забудови та рівнем забруднення. Зона водосховища діє як природний відстійник, де швидкість течії падає, що сприяє осадженню пластикових частинок. Це створює довгострокові ризики для місцевого рибальства та якості питної води.

Проведений морфологічний аналіз показав, що структура мікропластику в акваторії Малина є гетерогенною. У точках поблизу житлового сектору та місць масового відпочинку переважають мікрОВОлокна (58%), що корелює з викидами від пральних машин через систему каналізації. Натомість у районі промислових зон та транспортних розв'язок зафіксовано високу частку чорних еластомерних фрагментів, які за фізико-хімічними властивостями відповідають продуктам зносу автомобільних шин.

Лабораторне дослідження плавучості часток дозволило класифікувати їх за типом полімеру. Частинки з низькою щільністю (поліетилен, поліпропілен) зосереджені переважно у поверхневому шарі води, тоді як більш важкі полімери (ПВХ, ПЕТ) виявлені виключно у донних відкладах водосховища. Це свідчить про те, що Малинське водосховище виступає в ролі «пастки», де відбувається довготривале депонування пластику.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні вмісту мікропластику в тканинах місцевих видів риб (плітка, окунь). Отримані результати можуть стати базою для модернізації локальних очисних споруд Малина із застосуванням технологій піщаних фільтрів або мембранних біореакторів.

Висновок. Проведене дослідження підтверджує наявність мікропластику в екосистемі річки Ірша в межах м. Малина, з максимальними концентраціями у донних відкладах водосховища (до 112 част./кг) (табл.2.).

Основними типами забруднювачів є вторинні фрагменти та мікрОВОлокна, що свідчить про побутове та промислове походження відходів. Необхідне впровадження системи регулярного екомоніторингу та встановлення додаткових бар'єрів на зливових мережах міста для запобігання подальшій деградації водних ресурсів.

Таблиця 2

Морфологічний склад та ймовірне походження мікропластику в р. Ірша

Форма частинок	Частка (%)	Ймовірне джерело походження	Тип полімеру (основний)
Волокна	58	Побутові стічні води (текстиль)	Поліестер, акрил
Фрагменти	22	Руйнування великого пластикового сміття	Поліетилен
Плівки	12	Пакувальні матеріали, пакети	Поліетилен
Гранули (сфери)	5	Косметичні засоби, абразиви	Поліпропілен
Еластомери	3	Знос шин, дорожнє покриття	Синтетичний каучук

Важливим спостереженням став рівень біообростання знайдених часток. Понад 30 % фрагментів, вилучених із водосховища, мали ознаки формування біоплівки. Це підвищує токсикологічний ризик, оскільки мікропластик із біоплівкою стає важчим, опускається на дно і активніше поїдається рибою та донними безхребетними, що призводить до потрапляння пластику в харчовий ланцюг людини.

Аналіз просторового розподілу підтверджує, що критичне зростання концентрації відбувається після проходження річкою промислових кварталів міста. Встановлено, що концентрація мікропластику корелює з рівнем каламутності води: під час злив кількість вимитих із ґрунту та доріг частинок зростає у 2,5 рази. Це вказує на відсутність ефективних фільтраційних систем у міській зливовій каналізації. Завершальним етапом аналізу стала оцінка екологічного ризику (ER). Для Малинського водосховища цей показник оцінюється як «помірний з тенденцією до високого», що вимагає негайного впровадження заходів із обмеження використання одноразового пластику на місцевому рівні та модернізації очисних споруд.

Список використаних джерел:

1. Сміт Дж. Екологічна токсикологія полімерів. Вісник екології. 2024. № 2. С. 45-50.
2. Бондаренко О. В. Моніторинг малих річок України: виклики сучасності. Екологічні науки. 2025. Т. 12, № 3. С. 102-115.
3. Müller, A. Microplastics in freshwater sediments: a review. Global Water Journal. 2023. Vol. 15(4). P. 234-248.
4. Garcia, R. Industrial impact on riverine microplastic pollution. Environmental Technology. 2024. № 8. P. 12-25.
5. Шевченко А. М. Хімічний аналіз мікропластику методом ІЧ-спектроскопії. Український хімічний журнал. 2025. Т. 91, № 1. С. 33-40.

**Ніколайчук В.С., студент, III курс, група 31-3,
Геодезія та землеустрій
Науковий керівник: Кийко Н.Г., викладач**
*Відокремлений структурний підрозділ
Рівненський фаховий коледж Національного університету
природокористування і біоресурсів України*

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ

Забруднення ґрунтів залишається однією з найсерйозніших екологічних проблем нашого часу, адже ґрунт відіграє важливу роль як ключовий елемент природного середовища і основа сільськогосподарського виробництва. У цьому контексті особливої уваги заслуговують сучасні методи очищення ґрунтів, які спрямовані на ефективне відновлення їхнього екологічного стану. Технології очищення ґрунтів сьогодні можна поділити на фізичні, хімічні, біологічні та комбіновані методи.

Фізичні методи передбачають механічне видалення або ізоляцію забруднювачів. До таких способів належать зняття верхнього шару ґрунту, його заміна або переміщення, промивання водою чи спеціальними розчинами, а також термічна обробка. Наприклад, ґрунтове промивання дозволяє видаляти важкі метали та органічні забруднювачі шляхом їх розчинення і подальшого вилучення. Термічні методи, такі як інсинерація або десорбція, застосовуються для усунення нафтопродуктів і токсичних органічних сполук. Водночас слід враховувати, що такі технології потребують значних енергетичних ресурсів і можуть супроводжуватися викидами в атмосферу, що вимагає додаткових заходів контролю. Основною перевагою цих способів є їхня швидкість та ефективність. Проте вони часто пов'язані зі значними витратами і можуть порушувати природну структуру ґрунту.

Хімічні методи обробки ґрунтів базуються на використанні спеціальних хімічних речовин, що здатні нейтралізувати забруднювачі або трансформувати їх у менш шкідливі сполуки. Серед таких підходів - окиснення, відновлення, стабілізація і фіксація шкідливих речовин. Наприклад, додавання фосфатів чи вапна може зменшити мобільність важких металів у ґрунті, переводячи їх у більш стабільну форму. Окислювачі на зразок пероксиду водню чи озону ефективно руйнують органічні токсиканти. Важливою перевагою є можливість швидкого впливу на хімічний склад ґрунту, однак неправильне дозування реагентів може спричинити негативні екологічні наслідки. Основним викликом для таких методів є необхідність ретельного контролю застосування реагентів, щоб запобігти вторинному забрудненню.

Біологічні методи очищення, або біоремедіація, мають великий потенціал завдяки використанню природних процесів. Цей підхід застосовує діяльність живих організмів - мікроорганізмів, рослин чи грибів - для розкладання або накопичення шкідливих речовин. Зокрема, широко використовують фіторемердіацію, коли рослини (наприклад, соняшник, ріпак чи гірчиця) поглинають токсичні метали з ґрунту. Мікробіологічна ремедіація базується на роботі бактерій, здатних розкласти нафтопродукти та органічні забруднювачі до нешкідливих компонентів. Додатково застосовуються методи стимуляції природної мікрофлори шляхом внесення поживних речовин, що прискорює процес очищення. Перевагами цього підходу є екологічність, низька вартість та здатність зберігати природну структуру ґрунту. Однак біологічні методи вимагають більше часу для досягнення суттєвих результатів і залежать від кліматичних умов.

Комбіновані методи очищення ґрунтів виділяються як окрема група, адже ефективно інтегрують фізичні, хімічні та біологічні підходи. Наприклад, попереднє промивання ґрунту може бути доповнене біоремедіацією, що дозволяє досягти максимального результату. Додатково впроваджуються інноваційні технології, зокрема електрокінетичне очищення, яке використовує електричний струм для переміщення забруднювачів до електродів та їх подальшого видалення. У цьому напрямку знаходять застосування й нанотехнології - наночастинки здатні ефективно нейтралізувати токсичні речовини в ґрунті, підвищуючи швидкість і якість очищення.

Вибір конкретного методу залежить від ряду ключових факторів: типу забруднення, його глибини, фізико-хімічних характеристик ґрунту, а також економічної доцільності та екологічної безпеки. Важливу роль також відіграє моніторинг стану ґрунтів до і після очищення, що дозволяє оцінити ефективність застосованих технологій та своєчасно коригувати підходи. Часто найбільш оптимальним варіантом стає комплексний підхід, який забезпечує високу ефективність обробки при мінімальному негативному впливі на навколишнє середовище.

Таким чином, сучасні технології очищення ґрунтів відіграють важливу роль у вирішенні екологічних викликів. Вони не тільки сприяють зниженню рівня забруднення, а й відновлюють природні властивості ґрунту, підтримуючи сталий розвиток аграрної галузі та охорону природи. Постійний прогрес у вдосконаленні таких технологій дозволяє поліпшити їх ефективність і водночас скоротити витрати, що є особливо цінним у теперішніх реаліях.

Новіцька С.О., студентка 4-го курсу
Науковий керівник: Устименко В.І., доктор філософії
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЗЕЛЕНИЙ ТУРИЗМ ЯК ВІДПОВІДЬ НА ЗРОСТАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ТИСКУ

У сучасних умовах інтенсивного використання природних ресурсів, прискореної урбанізації, зростання рекреаційного навантаження та поширення масового туризму проблема антропогенного тиску на довкілля набуває особливої актуальності. Туристична діяльність є складним соціально-економічним явищем, яке, з одного боку, сприяє розвитку територій, створенню робочих місць, формуванню доходів місцевого населення та популяризації природної і культурної спадщини. З іншого боку, за відсутності належного планування та екологічного регулювання туризм може спричинити деградацію природних комплексів, забруднення навколишнього середовища, порушення ландшафтної структури територій, збільшення обсягів побутових відходів, надмірне використання водних та енергетичних ресурсів, а також втрату автентичності місцевого середовища. Особливо помітними такі наслідки стають у регіонах із високою концентрацією туристичних потоків, недостатньо розвинутою інфраструктурою та низьким рівнем екологічної культури відвідувачів.

У цьому контексті зелений туризм розглядається як один із перспективних напрямів сталого розвитку, що дозволяє поєднати рекреаційну діяльність із принципами раціонального природокористування, охорони ландшафтів, підтримки місцевих громад і збереження культурної спадщини. Його сутність полягає не лише у відпочинку в природному або сільському середовищі, а й у формуванні більш відповідальної моделі взаємодії людини з довкіллям. На відміну від масового туризму, який часто орієнтований на високу концентрацію відвідувачів і стандартизовані послуги, зелений туризм передбачає більш помірне використання територій, залучення локальних ресурсів, підтримку малих форм підприємництва та збереження природної основи туристичної привабливості.

Зелений, або сільський, туризм охоплює значну частину світового туристичного ринку та розглядається як важливий інструмент розвитку сільських територій. За наявними оцінками, щороку у світі здійснюється близько 700 млн туристичних подорожей, з яких приблизно 10-30 % припадає на сільський туризм [1]. За даними Всесвітньої туристичної організації, 12-15 % туристів надають перевагу зеленому туризму, а кількість таких подорожей має тенденцію до щорічного зростання [2]. Це свідчить про посилення суспільного запиту на екологічно безпечні, природоорієнтовані та локально автентичні форми відпочинку. Така тенденція пов'язана зі зміною цінностей споживачів туристичних послуг, які дедалі частіше обирають не лише комфорт, а й екологічну відповідальність, унікальність місцевого досвіду, можливість перебування у природному середовищі та підтримку локальних виробників.

Актуальність розвитку зеленого туризму посилюється також загальними тенденціями відновлення світової туристичної галузі після кризи, спричиненої пандемією COVID-19. У 2024 р. міжнародний туризм майже досяг докризового рівня та становив близько 1,4 млрд міжнародних поїздок, що відповідає приблизно 99 % показника 2019 р. [3]. Водночас туризм залишається одним із вагомих секторів світової економіки: у 2019 р. його внесок становив близько 10,4 % світового ВВП, або 9,2 трлн дол. США [4]. Ці показники демонструють значний економічний масштаб туристичної діяльності та водночас підкреслюють необхідність її екологічної трансформації. Зростання обсягів туризму без урахування принципів сталості може посилювати тиск на природні ресурси, тоді як розвиток зеленого туризму створює можливість для переорієнтації галузі на більш збалансовані моделі. На цьому тлі природоорієнтований туризм займає окреме місце, оскільки, за оцінками, становить близько 7 % глобального туристичного ринку та генерує понад 600 млрд дол. США щороку [3].

Європейський досвід демонструє, що зелений туризм може бути не лише формою екологічно відповідального відпочинку, а й важливим інструментом підтримки місцевої економіки, збереження сільських поселень і диверсифікації джерел доходів населення. У країнах Європи розвиток сільського та зеленого туризму часто поєднується з підтримкою фермерських господарств, локального виробництва харчових продуктів, традиційних ремесел, гастрономічної культури та природоохоронних ініціатив. Наприклад, у країнах Європейського Союзу близько 35 % міських жителів обирає відпочинок у сільській місцевості [5]. Це свідчить про стійкий інтерес міського населення до природного середовища, спокійного способу відпочинку, локальної культури та менш інтенсивних форм рекреації.

Для України зелений туризм має особливе значення, оскільки поєднує екологічні, економічні та соціальні функції. Його розвиток може стати важливим чинником підтримки сільських громад, особливо в умовах економічних викликів, демографічного скорочення сільського населення та необхідності створення альтернативних джерел доходу. В Україні функціонує приблизно 2 000 сільських садиб, що надають послуги сільського зеленого туризму [6]. Найбільш активними у цьому напрямі є західні регіони: у

Львівській області представлено близько 200 садіб, в Івано-Франківській - понад 300, у Закарпатській - понад 360, у Чернівецькій - близько 80 [6]. Такі показники свідчать про значний потенціал зеленого туризму як інструменту диверсифікації доходів сільського населення, розвитку місцевої інфраструктури та збереження культурно-природної спадщини. Водночас концентрація таких садіб переважно у західних регіонах вказує на нерівномірність розвитку зеленого туризму в Україні та необхідність ширшого залучення інших територій, які мають відповідні природні, ландшафтні, історико-культурні та рекреаційні ресурси.

Потужною природною основою для розвитку зеленого та екологічного туризму в Україні є біосферні резервати, природні заповідники, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки та інші природоохоронні території. Саме ці території формують базу для екологічно орієнтованих маршрутів, пізнавальних екскурсій, природничої освіти, спостереження за біорізноманіттям, розвитку локальних туристичних продуктів і популяризації відповідального ставлення до природи. Загалом в Україні налічується понад 8 000 територій та об'єктів природно-заповідного фонду, що займають близько 6 % площі країни [7]. Такий природоохоронний потенціал є важливою передумовою для формування мережі екологічного та зеленого туризму, однак його використання має відбуватися з урахуванням режимів охорони, рекреаційної місткості територій і потреб збереження біорізноманіття.

Попри умови воєнного стану, туристична привабливість України не зникає повністю. У 2023-2024 рр. Україну відвідали відповідно близько 2,45 млн та 2,54 млн іноземців за всіма цілями в'їзду [3]. Ці дані свідчать про збереження міжнародного інтересу до України навіть в умовах складної безпекової ситуації. У перспективі післявоєнного відновлення зелений туризм може стати одним із напрямів економічної активізації громад, особливо тих, що мають природні, лісові, ландшафтні та культурні ресурси. Його розвиток може сприяти створенню робочих місць, підтримці малого бізнесу, підвищенню доходів сільського населення та формуванню позитивного іміджу територій. Крім того, зелений туризм може відігравати важливу роль у відновленні соціальної згуртованості громад, популяризації локальної ідентичності та залученні населення до збереження природної і культурної спадщини.

Важливою перевагою зеленого туризму є його потенціал щодо зниження антропогенного навантаження на природні комплекси. На відміну від масового туризму, зелений туризм передбачає обмежену кількість відвідувачів, використання локальних ресурсів, дотримання екологічних норм, зменшення обсягів відходів, раціональне використання води та енергії, застосування екологічно безпечних матеріалів і підтримку традиційного природокористування. Його розвиток може також стимулювати впровадження екологічного менеджменту в туристичній сфері, зокрема сортування відходів, використання енергоощадних технологій, локальних продуктів харчування, природних матеріалів у будівництві та облаштуванні садіб, а також екологічну просвіту туристів.

Зелений туризм є важливою відповіддю на зростання антропогенного тиску, оскільки поєднує рекреаційну, природоохоронну, освітню та соціально-економічну функції. Його розвиток сприяє збереженню природних ландшафтів, раціональному використанню ресурсів, підвищенню екологічної свідомості туристів і місцевого населення, а також підтримці сталого розвитку сільських територій. Для України зелений туризм має особливий потенціал у контексті післявоєнного відновлення, розвитку громад і переорієнтації туристичної галузі на більш екологічно відповідальні моделі діяльності. За умов належного планування, підтримки місцевих ініціатив, розвитку інфраструктури та дотримання природоохоронних вимог він може стати одним із дієвих інструментів екологічно збалансованого відновлення територій і формування нової якості туристичного розвитку країни.

Список використаних джерел:

1. Green tourism as a perspective direction for rural entrepreneurship development. *Scientific approaches to modernizing the economic system: vector of development*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-189-6/1-18>.
2. Demko V. Prerequisites for the development of green tourism: global, national and regional dimensions. *Regional Economy*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2019-2-10>.
3. Dodilova K., Zhuchenko V., Krasavtseva L., Vasylyshyn V. Modern aspects of development of world and Ukrainian ecotourism. *E3S Web of Conferences*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458705001>.
4. Fedosieieva H. Current issues of activation of green tourism development in Ukraine. *Ukrainian Society*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.15407/socium2021.04.097>.
5. Gryshchenko O., Babenko V., Bilovodska O., Voronkova T., Ponomarenko I., Shatskaya Z. Green tourism business as marketing perspective in environmental management. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2022. Vol. 8. P. 117-132. DOI: <https://doi.org/10.22034/gjesm.2022.01.09>.
6. Gutkevych S., Haba M. Rural Green Tourism: Current Trends and Development Prospects. *Informacijos mokslai*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.15388/im.2020.89.44>.
7. Hlushchenko A., Rudomanov D. Development of ecotourism in Ukraine. *Economic Scope*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/189-22>.

Оверченко Т.А., ст. викладач, к.т.н.
Іваненко О.І., в.о. декана ФАШЕ, д.т.н.
Крижановська Я.П., асистент, PhD
Факультету автоматизації, промислової інженерії та екології
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ: ДЕГРАДАЦІЯ, ХІМІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЗАГРОЗИ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ

Вступ. Україна володіє одними з найродючіших ґрунтів у світі, зокрема чорноземами, які займають майже дві третини її сільськогосподарських угідь (4). Завдяки цьому країна традиційно відіграє критичну роль у глобальній продовольчій безпеці (5). Однак повномасштабна військова агресія призвела до безпрецедентного руйнівного впливу на ґрунтовий покрив. Використання потужної зброї, забруднення залишками боєприпасів, мінування та порушення традиційних агрохімічних циклів спричиняють комплексну фізичну та хімічну деградацію ґрунтів (7). Це ставить під пряму загрозу відновлення вітчизняного агросектору та стабільність світових ланцюгів постачання продовольства (5).

Мета оглядового дослідження. Здійснити комплексний аналіз екологічного стану ґрунтів України, що зазнали впливу військових дій, з акцентом на ідентифікацію рівнів токсико-хімічного забруднення, масштабів фізичної деградації, а також оцінку порушень балансу поживних речовин і пов'язаних із цим ризиків.

Матеріали та методи. Дослідження базується на синтезі сучасних наукових даних, отриманих за допомогою комплексу методів:

- Дистанційне зондування та машинне навчання: використання супутникових даних Sentinel-1 та Sentinel-2 для багаторічного моніторингу змін у землекористуванні (1).
- Фізико-хімічний аналіз: застосування рентгенофлуоресцентного (XRF) та інфрачервоного (FTIR) аналізів для визначення елементного складу ґрунтів у вирвах від вибухів (3).
- Біотестування: оцінка фітотоксичності забруднених ґрунтів за допомогою чутливих рослин-індикаторів (3).
- Мікробіологічний аналіз: ізоляція мікроорганізмів методами Коха та Хангейта для оцінки їх стійкості до важких металів (6).

Основні аспекти дослідження.

1. Токсико-хімічне забруднення ґрунтів від застосування зброї. Сучасні боєприпаси та безпілотні літальні апарати (БПЛА) містять різноманітні вибухові речовини й специфічні допоміжні матеріали, які під час детонації вивільняють у навколишнє середовище надзвичайно широкий спектр небезпечних токсикантів. Особливу увагу привертають результати дослідження наслідків удару дрона-камікадзе типу Shahed-136 безпосередньо на сільськогосподарських землях. Аналіз виявив екстремальне, безпрецедентне збагачення ґрунту на дні утвореної вирви важкими металами. Зокрема, було зафіксовано, що концентрація свинцю (Pb) у цих зразках перевищила 3%, а вміст кадмію (Cd) сягнув критичної позначки у 0,1%. Окрім загальновідомих токсичних елементів, у зоні удару зафіксовано наявність цілого ряду рідкісних і благородних металів, таких як паладій, іридій, срібло, вісмут та талій. Ці елементи виступають специфічними маркерами, що свідчать про руйнування електронних компонентів зброї та їх подальше осідання у ґрунтовому профілі. Ситуація додатково ускладнюється у промислових регіонах, наприклад, у Дніпропетровській області, де рівень накопичення важких металів у вирвах від артилерійських снарядів є вкрай високим. Зафіксовано значне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК): для свинцю цей показник становить 3,9 раза, для нікелю - 1,8 раза, а для марганцю - 1,4 раза. Водночас мікробіологічний аналіз ґрунтів, відібраних з місць інтенсивних обстрілів (зокрема, у місті Гостомель Київської області), демонструє важливі екологічні механізми адаптації. Дослідження свідчить, що попри колосальне збільшення вмісту заліза через наявність металевих уламків (майже до 82 000 ppm), у забрудненому ґрунті продовжують виживати специфічні бактерії, які є стійкими до хрому.

2. Зміни у землекористуванні та фізична деградація. Внаслідок активних бойових дій, побудови фортифікаційних споруд та масового мінування територій, Україна зіткнулася з масштабним і безпрецедентним вилученням земель із сільськогосподарського обігу. За даними сучасного супутникового моніторингу, загальна площа орних земель у країні скоротилася на 10% у період з 2022 по 2024 роки. Ситуація набуває катастрофічних масштабів у регіонах, де ведуться інтенсивні бойові дії, і показники втрат там є критичними. Проте проблема не обмежується лише прямим вилученням земель; величезною загрозою також є їх глибока фізична деградація, яка має довгострокові наслідки. Постійний рух важкої

військової техніки спричиняє сильне ущільнення ґрунтів, яке на сьогодні вже охоплює понад 22 мільйони гектарів орних земель. Таке критичне порушення структури ґрунтового покриву може призвести до колосального зниження врожайності - аж до 60%. Загалом, комплексна фізична та хімічна деградація ставить під пряму загрозу як відновлення вітчизняного агросектору, так і стабільність світових ланцюгів постачання продовольства.

3. Асиметрія поживних речовин та виснаження українських чорноземів. Війна спричинила глибоку, системну кризу в управлінні поживними речовинами в агропромисловому комплексі України, порушивши традиційні агрохімічні цикли. Блокування логістичних шляхів, руйнування інфраструктури та загальний дефіцит ресурсів призвели до того, що обсяги внесення мінеральних добрив у 2023 році критично скоротилися на 37-54% порівняно з довоєнним роком. Ця безпрецедентна ситуація сформувала на сільськогосподарських угіддях стійку «асиметрію поживних речовин». Вона характеризується гострим дефіцитом таких критично важливих макроелементів, як фосфор (P) та калій (K), що супроводжується значно порушеним балансом азоту (N). Оскільки фермери змушені суттєво зменшувати внесення добрив через економічні та логістичні перешкоди, вони отримують поточний врожай виключно за рахунок виснаження природних запасів самих ґрунтів (процес, що у світовій практиці відомий як soil mining). Така вимушена сільськогосподарська практика неминуче веде до прискореної втрати ґрунтової органічної речовини. Порушення циклу внесення добрив змушує агросектор покладатись виключно на експлуатацію природних запасів гумусу в чорноземах. У довгостроковій перспективі це явище загрожує катастрофічним падінням родючості земель, що потребуватиме запровадження плану інтегрованого управління поживними речовинами для їх відновлення.

4. Екотоксикологічний вплив та загрози для продовольчої безпеки. Накопичення в ґрунтовому профілі важких металів та небезпечних продуктів розпаду вибухівки становить надзвичайно серйозну і пряму загрозу, оскільки ці елементи здатні легко мігрувати та потрапляти у харчові ланцюги. Результати лабораторного біотестування ґрунтів, відібраних безпосередньо із вирв від вибухів, беззаперечно доводять їхню надзвичайно високу фітотоксичність. Зокрема, під час експериментів такі чутливі рослини-індикатори, як крес-салат та ріпак, демонструють майже повне пригнічення росту кореневої системи та пагонів при контакті із забрудненим середовищем. Однак, дослідження також виявили позитивні аспекти: деякі сільськогосподарські культури, наприклад редиска, виявляють значну толерантність до такого хімічного стресу. Зниження загальної врожайності через хімічне забруднення та фізичну деградацію може викликати дефіцит продовольства. Крім того, потрапляння токсикантів у продукти харчування створює ризики зростання рівня захворюваності серед вразливих груп населення. Для подолання цих масштабних екологічних викликів необхідне термінове застосування методів біо- і фіторемедіації із залученням як толерантних рослин, так і стійких до металів мікроорганізмів. Україна, яка володіє одними з найродючіших ґрунтів у світі і займає лідируючі позиції у глобальній продовольчій безпеці, потребує комплексного підходу до збереження свого земельного фонду.

Висновки:

1. Ґрунти України зазнають критичного комплексного руйнування: від вилучення з обігу близько 10% орних земель до локальних зон екстремального хімічного забруднення.
2. Епіцентри вибухів перетворюються на «гарячі точки» екотоксичності, непридатні для безпечного землеробства.
3. Порушення циклу внесення добрив загрожує катастрофічним падінням родючості чорноземів через виснаження гумусу.
4. Подолання викликів потребує впровадження плану інтегрованого управління поживними речовинами та методів біо- і фіторемедіації із залученням толерантних рослин та мікроорганізмів.

Список використаних джерел:

1. Kussul, N., Shelestov, A., Yailymov, B., et al. (2025). Assessment of war-induced agricultural land use changes in Ukraine using machine learning applied to Sentinel satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 140, 104551.
2. Yashchenko, L., Androshchuk, O., Vasylenko, L., Chornoivan, Y. (2025). Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine. *European Journal of Environmental Sciences*, 15(1), 18-27.
3. Kovrov, O., Koveria, A., Shemet, V., et al. (2026). Ecological assessment of soil quality affected by the Shahed-136 drone strike: Case study in Kirovograd region, Ukraine. *Sustainable Environment*, 12(1), 2615531.
4. Belis, C. A., Petrosian, A., Turos, O., et al. (2025). Status of Environment and Climate in Ukraine. European Commission, Joint Research Centre (JRC), JRC141480.
5. Medinets, S., Oenema, O., Spears, B. M., et al. (2025). Nutrient asymmetry challenges the sustainability of Ukrainian agriculture. *Communications Earth & Environment*.
6. Moliszewska, E., Bida, I., Matik, K., et al. (2025). Analysis of variations in heavy metal levels and soil microorganism counts resulting from shelling incidents in Ukraine. *Archives of Environmental Protection*, 51, 83-91.

Осаулко М.І., здобувач вищої освіти за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Кірейцева Г.В., д.т.н., доц., проф. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ДЖЕРЕЛА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАСЕЛЕННЯ

Іонізуюче випромінювання є невід'ємною складовою навколишнього середовища та супроводжує людину протягом усього життя. Воно має як природне походження (космічне випромінювання та радіонукліди земної кори), так і антропогенне, пов'язане з діяльністю людини (медична діагностика, атомна енергетика тощо). Рівень його впливу на здоров'я людини визначається джерелом, інтенсивністю та тривалістю експозиції, що зумовлює необхідність детального аналізу структури радіаційного фону.

Основну частину радіаційного навантаження становить природний фон, який забезпечує близько 80-85 % річної дози опромінення. За даними ВКДАР ООН (UNSCEAR, 2020), середньосвітова річна ефективна доза від природних джерел складає ~2,4 мЗв. До складу природного фону входить космічне випромінювання та радіонукліди земного походження, зокрема уран-238, торій-232 і калій-40, концентрація яких у ґрунті та повітрі суттєво варіюється залежно від місцевої геології та висоти над рівнем моря. Найбільший внесок у внутрішнє опромінення робить радон (~1,26 мЗв/рік, або ~42 % загальної дози), який накопичується в приміщеннях і є критичним фактором ризику розвитку раку легень [1]. Рівень природного випромінювання залежить від географічних і геологічних умов, тому в окремих регіонах може значно відрізнятись від середніх значень.

Окрім природних джерел, значний вплив мають антропогенні фактори. Найбільший внесок серед них забезпечує медична галузь - зокрема використання рентгенівських досліджень і комп'ютерної томографії (КТ); середня доза від медичної діагностики становить ~0,6 мЗв/рік [3]. Також до джерел належать атомна енергетика, промисловість і наслідки радіаційних аварій. Хоча атомна енергетика за нормальних умов має мінімальний вплив (< 0,0002 мЗв/рік), наслідки масштабних аварій (Чорнобиль, 1986; Фукусіма, 2011) створюють довготривалі «гарячі точки» через забруднення середовища такими радіонуклідами, як цезій-137 ($T_{1/2} = 30$ років) та стронцій-90 ($T_{1/2} = 29$ років) [4]. Особливо показовою є ситуація на Поліссі України, де радіоактивне забруднення ^{137}Cs після Чорнобильської катастрофи досі залишається екологічно значущим у ґрунтах лісових екосистем - зокрема у вільшняках та соснових лісах [5, 6]. Дослідження динаміки вмісту ^{137}Cs у тканинах і органах сосни звичайної (

Pinus sylvestris L.) свідчать про збереження значних рівнів накопичення радіонуклідів навіть через десятиліття після аварії [7]. Підвищені рівні акумуляції ^{137}Cs також виявлено в грибах і ягодах (журавлина) на сфагнових болотах Полісся, що становить реальний ризик для місцевого населення, яке традиційно збирає лісову продукцію [8, 9].

Техногенно підсилена природна радіоактивність (NORM). Важливим, але часто недооціненим аспектом є діяльність галузей, що працюють із природними матеріалами (видобуток корисних копалин, нафтогазовий сектор, виробництво цементу). Промислові процеси призводять до концентрації природних радіонуклідів у відходах та пилу, що підвищує ризики для працівників і населення прилеглих територій [10]. Систематичний радіаційний контроль у цих секторах залишається недостатнім у багатьох країнах.

Вплив іонізуючого випромінювання на людину залежить від отриманої дози, тривалості та способу впливу. Сучасні дослідження вказують на зв'язок низьких доз із підвищеним ризиком серцево-судинних і метаболічних захворювань, а також із несприятливими перинатальними наслідками. На клітинному рівні радіація викликає пошкодження ДНК, зокрема утворення дицентричних хромосом - ключового маркера у цитогенетичній біодозиметрії. Тривале опромінення навіть малими дозами може призводити до негативних наслідків для здоров'я, включаючи онкологічні захворювання та генетичні порушення [2].

Порівняльний аналіз джерел (табл. 1) демонструє, що найбільший внесок у сумарну річну дозу опромінення серед природних чинників робить радон, тоді як з антропогенних - медична діагностика. Для регіону Полісся України цей загальний фон ускладнюється тривалим постчорнобильським забрудненням, і дослідження розподілу ^{137}Cs у різних типах лісових умов свідчать про нерівномірність та тривалість цього ризику [5, 6, 7].

Основні джерела іонізуючого випромінювання та їх характеристика

Джерело випромінювання	Тип випромінювання	Середня річна доза (мЗв)	Частка від загальної дози	Примітка
Радон (у приміщеннях)	α, β	~1,26	~42 %	Найбільше джерело внутр. опромінення
Земна радіація (γ -фон)	γ	~0,48	~16 %	238U, 232Th, 40K у ґрунті та породах
Космічне випромінювання	γ, μ, n	~0,39	~13 %	Зростає з висотою над р.м.
Внутрішнє опромінення (їжа/вода)	α, β, γ	~0,29	~10 %	40K, 14C, 226Ra
Медична діагностика	γ, X	~0,60	~20 %	Рентген, КТ (антропогенне)
Атомна енергетика (норм. умови)	γ, β	~0,0002	< 0,01 %	Мін. вплив за норм. роботи реакторів
NORM-галузі (видобуток, нафта)	α, β, γ	змінна	-	Ризик для працівників та суміжних тер.

* Дані: UNSCEAR 2020 Report, МАГАТЕ, WHO

Отже, іонізуюче випромінювання є важливим екологічним фактором, що потребує постійного моніторингу з використанням сучасних підходів, зокрема моделей оцінки, що охоплюють понад 115 радіонуклідів [11]. Незважаючи на домінування природного фону (~80-85 % сумарного навантаження), антропогенна діяльність, і насамперед - наслідки Чорнобильської аварії - може суттєво та тривало змінювати радіаційне навантаження на населення окремих регіонів. Це зумовлює необхідність комплексного екологічного моніторингу, зниження ризиків і впровадження заходів радіаційної безпеки, зокрема в зонах із підвищеним вмістом радону та у лісових екосистемах Полісся.

Список використаних джерел:

1. Комісова Т.С., Гончаренко М.С., Сліпцова Н.А. Основні джерела іонізуючого випромінювання та його вплив на населення. 2023. URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/items/19c3a9ec-1365-4766-aef7-b28f136afccc>
2. Лозова Д.Р., Яечник Р.В. Вплив радіації на організм людини. URL: https://sci.lidubgd.edu.ua/bitstream/123456789/10210/1/conference_collection_of_materials_compressed.pdf
3. ВКДАР ООН (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report 2020. New York: United Nations, 2022. URL: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2020_2021_1.html
4. МАГАТЕ. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. Vienna: IAEA, 2006. 166 p.
5. Krasnov V. P., Zhukovskyi O. V., Sukhovetska S. V., Orlov O. O., Melnyk-Shamrai V. V., Kurbet T. V. Features of the modern distribution of 137Cs in soils under overmoistened growth conditions of black alder forests in Zhytomyr Polissya Ukraine. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2024. Vol. 25 (2). P. 149-156. (SCOPUS)
6. Zhukovskyi O. V., Krasnov V. P., Patseva I. G., Ivanyuk I. D. Contemporary patterns of radioactive contamination in black alder across different forest site conditions in the Polissia region of Ukraine. Nucl. Phys. At. Energy. 2025. Vol. 26. Issue 3. P. 242-248. <https://doi.org/10.15407/jnpae2025.03.242> (SCOPUS)
7. Krasnov V. P., Orlov O. O., Zhukovsky O. V. Dynamics of 137Cs content in tissues and organs of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in moist fairly infertile pine type of Polissya of Ukraine after Chernobyl accident. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2021. Vol. 22(4). P. 382-389. (SCOPUS)
8. Orlov O. O., Zhukovskyi O. V., Kurbet T. V., Shevchuk V. V., Sukhovetska S. V. Current 137Cs accumulation by mushrooms in different site types of Scots pine forests of Ukrainian Polissia. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2023. Vol. 24, № 3. P. 256-266. (SCOPUS)
9. Krasnov V., Ivaniuk I., Zhukovskyi O., Kurbet T., Orlov O. Dynamics of 137Cs Accumulation by Cranberry on Sphagnum Bogs of Polissia of Ukraine. Scientific Horizons. 2022. Vol. 25, No. 1. P. 68-75. (SCOPUS)
10. European Commission. Radiation Protection N° 135. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM IV). Luxembourg: EC, 2004.
11. Frischknecht R. et al. The EPD of the UNEP Life Cycle Initiative: Methodological Choices and Their Consequences for 115 Radionuclides. Int. J. Life Cycle Assess. 2020. Vol. 25. P. 2020-2033.

УДК 620.92:502.131.1(477.87)

**Петрова Ю.Є., здобувачка вищої освіти, 1 курсу, групи ЕО-45,
Кірейцева Г.В., д.т.н., доц.,
проф. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ЗАКАРПАТСЬКОЇ ЗАПАДИНИ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ РЕСУРС АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНУ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Закарпатська область опинилась у ситуації, коли через руйнування централізованої генерації під час бойових дій регіон змушений прискорено розвивати відновлювану енергетику. Станом на 2024 рік встановлена потужність сонячних електростанцій регіону склала 382 МВт. У березні 2026 року введено в дію першу велику вітрову електростанцію - Нижньоворітську ВЕС потужністю 80,8 МВт, а в лютому 2026 року отримала позитивний висновок ОВНС ВЕС на полонині Руна (156 МВт, 30 турбін). Водночас обидва вітрові проекти розгортаються у межах або поблизу природоохоронних зон мережі Смарагд і карпатських лісів, що породжує суперечність між потребою в «зеленій» генерації та збереженням гірських екосистем.

Ключовим показником є земельна ємність технологій (land-use intensity, LUI) - площа на одиницю виробленої електроенергії. Як видно з таблиці 1, геотермальна генерація є найменш земельноємною з усіх відновлюваних джерел.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика технологій відновлюваної генерації для умов Закарпатської області

Показник	Геотермальна (бінарна ORC)	Наземна вітрова	Сонячна фотовольтаїка
LUI, га/МВт	0,4-3,2	26-57	3-4
LUI, км ² /ТВт·год	7,5-10	170-15 000	40-50
Площа для 500 МВт (Закарпаття)	<1 600 га	37 000-43 000 га	~4 500 га
Коефіцієнт використання потужності	75-90%	30-40%	12-18%
Диспетчерована базова потужність	Так	Ні	Ні (лише вдень)
Сумісність із природоохоронними зонами	Повна (долини)	Конфлікт (полонини)	Часткова
Підтверджений ресурс у регіоні	492,6 МВт (7 родовищ)	Значний, але в охоронних зонах	382 МВт (вст.)

Для забезпечення базового навантаження у 500 МВт вітрова генерація потребувала б освоєння 37-43 тис. га гірських хребтів, тоді як геотермальні установки тієї ж потужності зайняли б менше 1 600 га. Різниця складає щонайменше 25 разів на користь геотермальної генерації. Критично важливим є й те, де саме розташований цей ресурс. У листопаді 2025 року під час парламентського виїзду на Закарпаття було задокументовано розміщення турбін ВЕС «Руна» за 30-40 метрів від меж охоронних зон мережі Смарагд. Екологічна організація «Екосфера» встановила, що вітрові проекти охоплюють сім із дванадцяти гірських хребтів Українських Карпат, зачіпаючи первинні букові ліси, занесені до Списку світової спадщини ЮНЕСКО. Полонини - субальпійські пасовища, ґрунт яких формується тисячоліттями, виконують важливу гідрологічну функцію: регулюють водний режим гірських потоків і запобігають паводкам у долинах. На відміну від вітрової генерації, геотермальна функціонує у замкненому підземному контурі і не залежить від рельєфу чи рослинності. Закарпатська западина характеризується геотермічним градієнтом 3,57-8,0°C/100 м, а температура 120°C, достатня для роботи бінарної ORC-установки, досягається тут на глибині 2 000-2 200 м. Принципово важливо, що всі сім виявлених родовищ - Берегівське, Косинське, Терелянське, Ужгородське, Велятинське, Великопаладське, Великобактинське - просторово збігаються з вже урбанізованими долинними зонами. Сукупна технічно освоювана потужність родовищ складає 492,6 МВт, що перевищує поточний дефіцит диспетчерованої базової потужності регіону (250-350 МВт).

Висновки. Вітрова генерація на полонинах вирішує енергетичну проблему за рахунок деградації найбільш уразливих гірських екосистем. Сонячна генерація (382 МВт) не здатна забезпечити базове навантаження взимку - структурний дефіцит становить 250-350 МВт. Геотермальна бінарна ORC-генерація є єдиною технологією, що одночасно забезпечує цілодобову диспетчеровану потужність (КВП 75-90%), мінімальний земельний слід і повну сумісність з природоохоронним статусом регіону. Геологічне розташування родовищ під вже трансформованими долинними ландшафтами усуває конфлікт між енергетичною автономією та збереженням природної спадщини Закарпаття.

Пінчук С.А., аспірант, м.н.с. кафедри
теплового інжинірингу та енергетичних технологій
Науковий керівник: Шарабура Т.А., к.т.н., доц. кафедри теплового
інжинірингу та енергетичних технологій
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ФАЗОВОГО РОЗПОДІЛУ ДОМІНУЮЧИХ СПОЛУК ВАНАДІЮ ПІД ЧАС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЛЯ

Ванадій є мікроелементом вугілля з подвійним значенням: він належить до потенційно токсичних елементів і водночас є цінним компонентом для сучасних промислових та енергетичних технологій. Середній вміст V у бурому та кам'яному вугіллі становить близько 22 і 28 ppm відповідно. У вугіллі ванадій переважно пов'язаний з алюмосилікатною мінеральною речовиною та органічною масою; у збагачених вуглецевмісних породах він також може входити до складу глинистих і ванадієвмісних мінеральних фаз. Такий характер зв'язування визначає можливість перерозподілу ванадію між газовою та конденсованою фазами під час спалювання. Тому дослідження його термодинамічного розподілу є важливим для оцінювання умов винесення ванадію з продуктами згоряння, його участі у формуванні зольних відкладень і накопичення у твердих залишках.

З метою встановлення закономірностей міграції ванадію під час високотемпературної термічної переробки було проведено дослідження його поведінки під час спалювання зразків довгополуменового вугілля Павлоградського вугледобувного регіону. Розрахунки виконано для інтервалу температур 1540-1620 К (1267-1347 °С) за сталого тиску 0,1 МПа. Отримані результати наведено на Рисунку 1.

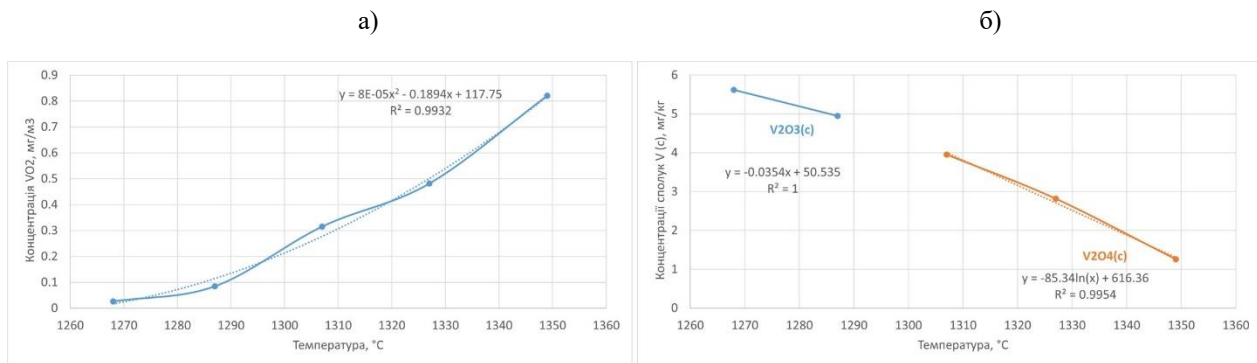


Рисунок 1 - Зміна концентрацій сполук ванадію VO_2 (а) та $V_2O_3/V_2O_4(c)$ (б) залежно від температури спалювання вугілля

Як видно з Рис. 1, у газовій фазі основною сполукою ванадію в дослідженому діапазоні температур є VO_2 . Його концентрація зростає зі збільшенням температури від близько 0.026 мг/м³ при 1267 °С до приблизно 0.82 мг/м³ при 1347 °С. Така тенденція свідчить про посилення переходу ванадію в газову фазу за умов підвищення температури, що може збільшувати екологічне навантаження на систему газоочищення. У конденсованій фазі за нижчих температур переважає V_2O_3 , концентрація якого зменшується від 5.62 до 4.95 мг/кг. За вищих температур формується V_2O_4 , концентрація якого також знижується - приблизно від 3.94 до 1.25 мг/кг. Отже, підвищення температури супроводжується не лише зменшенням вмісту ванадію у твердій фазі, але й зміною його домінуючих оксидних форм.

Отримані результати свідчать, що температурний режим є визначальним чинником міграції ванадію під час спалювання вугілля. Підвищення температури посилює його перехід до газової фази, що важливо для оцінювання можливого винесення V з продуктами згоряння та навантаження на систему пилогазоочищення. Зміна складу конденсованих оксидних форм має враховуватися під час аналізу зольних відкладень, шлакування та поводження з твердими залишками. Таким чином, результати рівноважного моделювання створюють основу для подальшого екологічного оцінювання процесів винесення, осадження та накопичення ванадію у продуктах спалювання вугілля.

Плотніков Є.О.,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «доктор філософії»
спеціальності Е2 «Екологія»
Науковий керівник: Валерко Р.А., д.с.-г.н., доц.,
проф. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТИХІЙНИХ ЛИХ ТА РИЗИКІВ

Сучасні глобальні зміни клімату, зростання антропогенного навантаження та урбанізація призводять до збільшення частоти та інтенсивності стихійних лих, зокрема повеней, посух, лісових пожеж, зсувів і техногенних аварій. Такі процеси створюють значні загрози для населення, економіки та довкілля, що обумовлює необхідність удосконалення систем прогнозування та управління ризиками [1].

Традиційні підходи до прогнозування стихійних лих базуються на використанні статистичних методів і фізичних моделей, які часто мають обмежену точність і не враховують складні нелінійні взаємозв'язки між різними факторами. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання технологій штучного інтелекту, які дозволяють підвищити точність прогнозів і забезпечити оперативне реагування на загрози [1, 2].

Одним із основних напрямів застосування ШІ є прогнозування природних катастроф. Алгоритми машинного та глибокого навчання використовуються для аналізу великих масивів даних, що включають метеорологічні показники, гідрологічні дані, інформацію про стан ґрунтів та інші фактори. На основі цього формуються моделі, здатні прогнозувати виникнення та розвиток стихійних явищ із високою точністю [1].

Важливим напрямом є прогнозування та виявлення лісових пожеж, які є одними з найпоширеніших і найбільш небезпечних стихійних лих. Технології штучного інтелекту дозволяють аналізувати дані про температуру, вологість, швидкість вітру та стан рослинності для оцінки ризику виникнення пожеж, що забезпечує можливість раннього попередження та зменшення масштабів їх поширення [2, 3].

Застосування ШІ також є ефективним у сфері прогнозування повеней та гідрологічних ризиків. Моделі штучного інтелекту аналізують дані про рівень води, опади, рельєф місцевості та інші параметри для прогнозування можливих підтоплень. Це дозволяє своєчасно вживати заходів щодо захисту населення та інфраструктури [1].

Окремим напрямом є оцінка ризиків і підтримка прийняття рішень. Інтелектуальні системи аналізують комплексні дані та формують рекомендації для органів управління щодо запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що підвищує ефективність управління ризиками та сприяє зменшенню негативних наслідків стихійних лих [1].

Крім того, технології штучного інтелекту використовуються для аналізу даних дистанційного зондування Землі, що дозволяє виявляти зміни у природному середовищі та оцінювати масштаби стихійних явищ. Використання комп'ютерного зору забезпечує автоматичну обробку супутникових знімків і підвищує оперативність отримання інформації [1] (табл. 1).

Таблиця 1

Застосування технологій штучного інтелекту у прогнозуванні стихійних лих та екологічних ризиків

Напрямок застосування ШІ	Використані методи	Джерела даних	Основні результати
Прогнозування стихійних лих	Машинне навчання, глибоке навчання	Метеодані, історичні дані	Підвищення точності прогнозів
Прогнозування повеней	Гідрологічне моделювання + ШІ	Дані про рівень води, опади	Завчасне виявлення ризику підтоплень
Виявлення лісових пожеж	Комп'ютерний зір, нейронні мережі	Супутники, сенсори	Раннє виявлення пожеж
Оцінка екологічних ризиків	Інтелектуальний аналіз даних	Комплексні екологічні дані	Визначення зон ризику
Системи раннього попередження	AI + IoT	Сенсорні мережі	Оперативне інформування населення
Аналіз супутникових даних	Комп'ютерний зір	ДЗЗ	Оцінка масштабів катастроф

Важливим аспектом є створення систем раннього попередження, які базуються на інтеграції ШІ з сенсорними мережами та інформаційними системами. Такі системи дозволяють оперативно інформувати населення про можливі загрози та забезпечувати своєчасне реагування на надзвичайні ситуації [2]. Загальну схему використання штучного інтелекту у прогнозуванні стихійних лих представлено на рис. 1.



Рис. 1. Схема використання штучного інтелекту у прогнозуванні стихійних лих та ризиків

Разом з тим, використання штучного інтелекту у прогнозуванні стихійних лих має певні обмеження. Основними проблемами є залежність від якості даних, складність моделей, необхідність значних обчислювальних ресурсів та ризики помилкових прогнозів. Крім того, важливим є забезпечення надійності та інтерпретованості моделей для прийняття управлінських рішень [1].

Отже, застосування штучного інтелекту у прогнозуванні стихійних лих та екологічних ризиків є перспективним напрямом розвитку систем екологічної безпеки. Використання інтелектуальних технологій дозволяє підвищити точність прогнозування, забезпечити раннє виявлення загроз і сприяти ефективному управлінню надзвичайними ситуаціями.

Список використаних джерел:

1. Linardos V., Drakaki M., Tzionas P., Karnavas Y. L. Machine learning in disaster management: recent developments in methods and applications. *Mach Learn Knowl Extract*. 2022. 4(2):446-73. <https://doi.org/10.3390/MAKE4020020>.
2. Даник Ю. О., Кіріченко Д. О. Застосування систем штучного інтелекту для вирішення проблем пожежної безпеки. *Механіка та математичні методи*. 2025. № 7/1. С. 152 - 172. <https://doi.org/10.31650/2618-0650-2025-7-1-152-172>.
3. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Плотніков Є. О. Штучний інтелект у системах екологічної безпеки: від моніторингу до превентивного управління. *Екологічні науки*. 2025. № 5(62), ч. 2. С. 111 - 115. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.18>.

Пляцук Я.М., аспірант
Крижановська Я.П., доктор філософії, асистент
Гомеля М.Д., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ, ОТРИМАНОЇ ШЛЯХОМ ЕЛЕКТРОЛІЗНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ

Більшість сучасних технологій, що використовуються для водопідготовки супроводжуються значною кількістю високомінералізованих концентратів. Традиційні методи очищення зазвичай фокусуються на осадженні солей, що генерує значні обсяги вторинних шламів, а скидання таких відходів у природні водойми може призводити до стрімкої деградації екосистем через сольове перевантаження [1]. В той же час світовий тренд на перехід до циркулярної економіки та впровадження концепції zero liquid discharge (нульовий рідинний скид) вимагають розробки технологій, що дозволяють трансформувати відходи у ліквідні продукти [2,3].

Як відомо, згадані концентрати часто характеризуються високим вмістом сульфат-іонів. Досить перспективним напрямком може бути їх переробка з використанням мембранних технологій, зокрема електродіалізу. Реалізація технологій такого типу дозволяє видаляти сульфати з робочого розчину та в одній із камер електролізера отримувати сірчану кислоту [4,5].

Сульфатна кислота, отримана шляхом електролізного концентрування, ймовірно, буде характеризуватись концентраціями від 5 до 45 % [4-6], що значно менше ніж в контактній (92-96 %), а також, в залежності від аніонного складу вихідного розчину потенційною наявністю домішок хлорид-іонів або залишкових солей. Проте, для багатьох галузей промисловості надвисока концентрація не є обов'язковою, і такі концентрації є цілком достатніми для широкого спектра промислових застосувань. Це дозволяє використовувати отриману кислоту без додаткового подальшого випарювання.

Найбільш логічним є використання отриманої кислоти безпосередньо на місці її утворення, а саме, на станціях водопідготовки підприємств. Катіоніти, що часто застосовуються на таких станціях, вимагають регулярної регенерації для відновлення робочої ємності. Для цього традиційно закуповується кислота, яка розводиться до необхідних 7-10%. Використання сульфатної кислоти, отриманої шляхом електролізного концентрування з тих самих регенераційних розчинів дозволяє повністю замінити покупний реагент, виключаючи витрати на логістику та безпечно зберігання концентрованої кислоти.

Активне застосування сульфатна кислота має в металургії. Зокрема, велика кількість кислотних розчинів використовується з метою видалення окалини з поверхні металопрокату. В процесах травлення та пасивації застосовується широкий діапазон концентрацій. Також часто сірчана кислота використовується у процесах електрохімічного нанесення покриттів, для підкислення електролітів. Особливо актуально для процесів анодування алюмінію, де оптимальні робочі концентрації кислоти становлять близько 15-20% [7]. Розчини сірчаної кислоти з додаванням інгібіторів корозії є одним з основних агентів для кислотного травлення сталей в машинобудуванні

Ще одним великим споживачем є гідрометалургія. До прикладу, у процесах електрорафінування міді утворюються шлами, багаті на цінні та рідкісні метали. Обробка таких шламів розчинами сірчаної кислоти (разом із додаванням окисників, таких як оксид мангану) дозволяє ефективно вилучати селен, телур та інші елементи [8]. У видобувній промисловості застосовується для підземного вилуговування уранових та мідних руд, при цьому саме видобувна промисловість є одним із великих джерел утворення рідких мінералізованих відходів, тому застосування кислоти, отриманої вторинно з шахтних вод, дозволить створити екологічно збалансований цикл видобутку. Крім того, все ще залишається актуальною концепція «Urban Mining» [9], яка передбачає вилучення цінних компонентів, зокрема міді, нікелю, літію, тощо з відпрацьованої електроніки, а саме сульфатна кислота є основним реагентом для вилуговування цих металів.

Не зважаючи на те, що в агропромисловому секторі зазвичай використовують кислоти з вищими концентраціями, застосування сульфатної кислоти отриманої в електролізері має потенціал. Вона може використовуватися безпосередньо для стабілізації рідких азотних добрив та отримання частково розщеплених фосфоритних руд, які діють як добрива пролонгованої дії.

Критично важливим сектором сьогодні є військово-промисловий комплекс. Вся важка військова техніка, а також системи резервного живлення використовують свинцево-кислотні батареї, в яких електролітом виступає розчин сірчаної кислоти концентрацією 30-35%. Сюди ж слід віднести застосування сірчаної кислоти у вже вище згаданих процесах зняття іржі та окалини, як елементах попередньої підготовки перед нанесенням захисних покриттів, фарбування, оксидування стволів артилерійських систем та стрілецької зброї. Також розчини сірчаної кислоти різної концентрації можуть

використовуватися у синтезі деяких термостійких вибухових речовин власне на етапах протонування, очищення від домішок або як реакційне середовище. При виробництві нітроцелюлози, що є основою для виробництва майже всіх сучасних артилерійських порохів, тринітротолуолу, що застосовується для спорядження артилерійських снарядів, мін та авіабомб, нітрогліцеринів та багатьох інших компонентів зброї на різних етапах присутнє використання сірчаної кислоти з різним діапазоном концентрацій. Крім того застосування методу електролізного концентрування для регенерації утворених відпрацьованих розчинів дозволить замкнути виробничий цикл на підприємствах ОПК

Отже, сірчана кислота має широкий спектр застосування в промисловості. Її отримання з відходів у вигляді мінералізованих концентратів варто розглядати як важливий інструмент ресурсозбереження, оскільки потенційно можна зменшити кількість скидання сольових концентратів, забезпечити промисловість недорогим хімічним реагентом та створити замкнені, екологічно-безпечні виробничі цикли.

Список використаних джерел:

1. Вакуленко, А. К. Зниження екологічних ризиків засолення поверхневих вод концентрованими сольовими відходами : дис. ...д-ра філософії : 101 Екологія / Вакуленко Анна Костянтинівна. - Київ, 2023. - 214 с.
2. Date, M., Patyal, V., Jaspal, D., Malviya, A., & Khare, K. (2022). Zero liquid discharge technology for recovery, reuse, and reclamation of wastewater: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103129.
3. An, W., Zhao, J., Lu, J., Han, Y., & Li, D. (2022). Zero-liquid discharge technologies for desulfurization wastewater: A review. *Journal of environmental management*, 321, 115953.
4. Трус, І. М., Грабітченко, В. М., & Гомеля, М. Д. (2013). Отримання сірчаної кислоти при електрохімічній переробці елюатів, що містять сульфати. *Східноєвропейський журнал передових технологій*, 4(6 (64)), 10-13.
5. Shabliy, T., Goltvianyskaya, E., & Shabliy, N. (2011). Electrochemical processing of regeneration solutions from ion-exchange treatment of water with production of acid and alkalis. *Swedish-Polish-Ukrainian cooperation project "Future urban sanitation to meet new requirements for water quality in the Baltic Sea region"*, Cracow, Poland.
6. Трус, І. М., Петриченко, А. І., Грабітченко, В. М., & Гомеля, М. Д. (2013). Електрохімічне концентрування сірчаної кислоти.
7. Якименко, Г. Я., & Артеменко, В. М. (2006). Технічна електрохімія. ч. 3. Гальванічні виробництва: Підручник. Харків: НТУ «ХП».
8. Hait, J., Jana, R. K., Kumar, V., & Sanyal, S. K. (2002). Some studies on sulfuric acid leaching of anode slime with additives. *Industrial & engineering chemistry research*, 41(25), 6593-6599.
9. Mining, U. (2015). Urban mining: Concepts, terminology, challenges. *Waste Manag*, 45, 1-3.

Покшевницький А.С., аспірант
Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Науковий керівник: Вергельська Н.В., д-р геол. наук, с.н.с
Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоекології та розвитку інфраструктури НАН України»

РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ТОРФОВИХ РОДОВИЩ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ ТОРФОВО-БОЛОТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Торфові родовища України є важливим природним ресурсом, що виконує комплекс біосферних функцій: гідрологічну, акумулятивну, біологічну, газорегуляторну, геохімічну, ландшафтну та кліматичну. Особливе значення серед них має газорегуляторна функція - здатність непорушених торфовищ акумулювати вуглець у складі органічної речовини торфу та продукувати кисень у процесі фотосинтезу болотних рослин. Проте антропогенне втручання, насамперед масове осушення боліт Українського Полісся у 1960-1980-х роках, призвело до деградації значної частини торфових родовищ.

В осушених торфовищах припиняється торфоутворення та акумуляція карбону. Натомість запускається зворотній процес: окиснення і мінералізація органічної речовини торфу з емісією в атмосферу вуглекислого газу. За даними досліджень, серед 30 обстежених торфових родовищ сім виявилися такими, що деградують: впродовж 30-50 років зольність їх торфу зросла у 1,7-3,8 рази, коефіцієнт кореляції між тривалістю осушення й індексом зростання зольності склав 0,827, що підтверджує суттєвий причинно-наслідковий зв'язок. Рекультивация горілих та деградованих торфовищ є дієвим заходом запобігання подальшій деградації торфового фонду та мінімізації негативного впливу осушених родовищ на стан довкілля та має розглядатися як комплекс заходів, спрямованих на відновлення екологічно корисного стану торфовища. Залежно від ступеня деградації торфовища та його господарської цінності можливі різні сценарії рекультивации. Для родовищ із глибоким порушенням гідрологічного режиму пріоритетним є повна ренатуралізація через повторне заболочування. Для частково деградованих ділянок доцільним може бути поєднання екологізованого відпрацювання залишків торфу з подальшим відновленням болотної рослинності. В обох випадках відновлення водного режиму є обов'язковою умовою, оскільки саме рівень ґрунтових вод визначає напрям біогеохімічних процесів - у бік акумуляції або мінералізації органічної речовини.

Успішна рекультивация забезпечує комплексний екологічний ефект одразу у кількох вимірах. У кліматичному аспекті відновлення торфоутворення означає припинення емісії вуглекислого газу та поступовий перехід екосистеми від джерела до поглинача вуглецю, що має пряме значення для регіонального вуглецевого балансу. У гідрологічному відношенні ренатуралізовані торфовища відновлюють функцію природного регулятора стоку: акумулюють атмосферні опади, підтримують рівень ґрунтових вод і забезпечують рівномірне живлення річок, що особливо важливо в умовах зростаючої посухи. Суттєво знижується також пожежна небезпека, характерна для осушених і деградованих торфовищ, торфові пожежі на яких супроводжуються масштабним забрудненням атмосфери продуктами горіння та знищенням ґрунтового покриву на значних площах. Нарешті, у біотичному вимірі відновлення характерного рослинного та тваринного різноманіття болотних екосистем повертає регіону природні біотопи, які є середовищем існування багатьох рідкісних і зникаючих видів.

В основу природоохоронного підходу покладено поетапну послідовність заходів з рекультивации порушених торфових родовищ. Перший етап передбачає діагностику екологічного стану торфовища та ідентифікацію ступеня його деградації, включаючи оцінку гідрологічного режиму та інтенсивності мінералізації органічної речовини. На наступному етапі обґрунтовується функціонально доцільний сценарій рекультивации як компроміс між ренатуралізаційними процесами та можливими варіантами господарського використання території. Завершальний етап передбачає ініціацію процесів біологічної сукцесії та відновлення характерного рослинного покриву, що забезпечує відновлення механізмів торфоутворення та стабілізацію екосистеми. У результаті впровадження запропонованого підходу досягається трансформація деградованих торфовищ із джерел викидів вуглекислого газу у функціонально активні екосистеми з відновленою здатністю до акумуляції вуглецю.

Таким чином, рекультивация деградованих торфових родовищ є не лише технічним завданням, а й ключовим природоохоронним інструментом у контексті збереження клімату, відновлення біорізноманіття та раціонального природокористування. Запропонований поетапний підхід, що базується на інтегрованому управлінні екогідрологічними та біогеохімічними процесами, забезпечує системне вирішення проблеми деградації торфовищ - від діагностики їх стану до відновлення здатності екосистеми до акумуляції вуглецю.

Поліщук С.Ф., студент 4-го курсу
Науковий керівник: Нонік Л.Ю., доктор філософії
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДІЯЛЬНОСТІ КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Каменеобробна промисловість є однією з важливих складових будівельного та інфраструктурного сектору України, оскільки забезпечує виробництво широкого спектра продукції з природного каменю, яка використовується у житловому, промисловому та дорожньому будівництві, архітектурному оздобленні фасадів і інтер'єрів, створенні елементів міського благоустрою, меморіальних комплексів, а також у ландшафтному дизайні. Значення цієї галузі зумовлене стабільним попитом на довговічні та естетично привабливі будівельні матеріали, які поєднують високі експлуатаційні характеристики з природною декоративністю. Основними видами сировини виступають граніт, габро, лабрадорит, базальт, діорит та інші міцні магматичні й метаморфічні породи, що характеризуються високою щільністю, зносостійкістю, стійкістю до атмосферних впливів і значною різноманітністю текстурно-колірних властивостей. Саме ці особливості визначають їх широке застосування в сучасному будівництві та архітектурі.

Водночас розвиток каменеобробної промисловості супроводжується суттєвим техногенним навантаженням на навколишнє природне середовище. Такий вплив має комплексний і багатокомпонентний характер та охоплює всі основні елементи екосистем - атмосферне повітря, поверхневі та підземні води, ґрунтовий покрив, рослинний і тваринний світ, а також опосередковано впливає на стан здоров'я населення, яке проживає поблизу виробничих об'єктів. Інтенсивність цього впливу залежить від масштабів виробництва, технологічного рівня обладнання та ефективності впроваджених природоохоронних заходів.

Екологічні аспекти діяльності каменеобробних підприємств формуються на всіх етапах виробничого циклу - від видобування кам'яних блоків у кар'єрах до їх транспортування, механічної обробки, складування та реалізації готової продукції. Кожна технологічна операція, включаючи буріння, різання, дроблення, шліфування та полірування, супроводжується утворенням специфічних забруднюючих речовин і фізичних факторів впливу. У процесі роботи обладнання формуються викиди пилу, шум, вібрації, а також забруднені стічні води та тверді відходи. Сукупна дія цих факторів створює комплексний техногенний вплив, який може проявлятися як на локальному рівні (у межах підприємства та прилеглих територій), так і на більш широких територіях через перенесення забруднюючих речовин природними потоками.

Одним із ключових екологічних факторів є пилове забруднення атмосферного повітря. У процесі механічної обробки каменю формується значна кількість дрібнодисперсного мінерального пилу, до складу якого входять частинки кварцу, оксидів кремнію, кальцію, магнію, заліза та інших мінеральних компонентів. Найбільш інтенсивне пиловиділення спостерігається при сухих технологічних процесах, особливо під час різання та шліфування без використання водяного охолодження.

Наукові дослідження підтверджують, що концентрації твердих частинок РМ10 у зонах роботи дробильного обладнання можуть перевищувати 180-278 мкг/м³, що суттєво перевищує допустимі санітарні нормативи [2;6;4]. Такі показники свідчать про високий рівень екологічного ризику та необхідність впровадження ефективних систем пилопригнічення.

Пилове забруднення має виражений транскордонний характер, оскільки дрібні частинки здатні переноситися повітряними потоками на значні відстані. У результаті відбувається вторинне забруднення територій, осідання пилу на ґрунтах, рослинності, будівлях і водних об'єктах. Це призводить до деградації природних екосистем, зниження біорізноманіття та погіршення загального екологічного стану територій.

Крім екологічного впливу, пил має суттєве медико-санітарне значення. Частинки кристалічного кремнезему, що містяться у кам'яному пилу, є потенційно небезпечними для здоров'я людини. Тривалий контакт із таким пилом може призводити до розвитку професійних захворювань органів дихання, включаючи силікоз, хронічні бронхіти, астматичні прояви та інші [6;9].

Важливим аспектом екологічного впливу є використання водних ресурсів у виробничих процесах. Вода застосовується для охолодження обладнання, зменшення пиловиділення та промивання кам'яних виробів. У результаті утворюються виробничі стічні води, що містять завислі мінеральні речовини, дрібнодисперсний шлам, залишки абразивних матеріалів та інші домішки.

За даними наукових досліджень, без належного очищення такі стоки спричиняють підвищення хімічного та біохімічного споживання кисню, збільшення мутності води, зниження концентрації розчиненого кисню та погіршення загальної якості водних ресурсів [1;7]. Це негативно впливає на водні екосистеми, змінює умови існування гідробіонтів і може призводити до їх часткової або повної деградації.

Особливої уваги потребує проблема кам'яного шламу, який є побічним продуктом мокрої обробки каменю. Шлам являє собою густу суспензію з дрібнодисперсних частинок гірських порід і води. Його

накопичення у відстійниках або потрапляння у природні водойми призводить до замулення, зменшення пропускну здатності водойм, порушення кисневого режиму та зміни гідрохімічних [5]. У довгостроковій перспективі це може викликати деградацію водних екосистем і втрату їх саморегуляційної здатності.

Значний вплив каменеобробні підприємства здійснюють і на земельні ресурси. Розміщення виробничих об'єктів, складів сировини, відвалів та транспортної інфраструктури призводить до механічного порушення ґрунтового покриву. Осідання пилу сприяє ущільненню ґрунтів, зміні їх структури, зниженню водопроникності та погіршенню агроекологічних властивостей.

Додатковим негативним фактором є утворення значних обсягів виробничих відходів. У процесі обробки природного каменю втрати сировини можуть становити від 10 до 35 % [10;8]. До основних відходів належать кам'яні уламки, пил, шлам, відпрацьовані абразивні матеріали та допоміжні матеріали. Частина з них може бути повторно використана у будівництві або дорожньому господарстві, однак значні обсяги накопичуються у вигляді відвалів, що створює додаткове навантаження на довкілля.

Окрему екологічну проблему становить шумове та вібраційне забруднення. Джерелами шуму є бурові установки, дробильне та каменерізальне обладнання, компресори та вантажний транспорт. Рівні шуму часто перевищують 85 dBA [3], що негативно впливає на стан здоров'я працівників, викликає втому, стрес, зниження працездатності та ризики погіршення слуху.

Крім того, каменеобробна діяльність має істотний вплив на рослинний покрив. Осідання пилу на листках рослин знижує інтенсивність фотосинтезу, порушує газообмін і водний баланс, що призводить до пригнічення росту рослинності та зменшення біопродуктивності екосистем [6;7].

Сучасні дослідження підкреслюють необхідність впровадження системних природоохоронних заходів. Серед них: використання систем пилопригнічення, локальної аспірації, замкнених циклів водопостачання, сучасних фільтраційних установок, а також технологій повторного використання відходів.

Перспективним напрямом розвитку каменеобробної промисловості є впровадження принципів циркулярної економіки та сталого розвитку, що передбачає поступовий перехід від лінійної моделі «видобуток-виробництво-відходи» до більш замкнених виробничих циклів. Це включає мінімізацію утворення відходів на всіх етапах технологічного процесу, повторне використання побічних продуктів виробництва, переробку кам'яних відходів у будівельні матеріали, а також підвищення загальної ресурсоефективності підприємств. Важливим аспектом є також скорочення споживання первинних природних ресурсів шляхом оптимізації технологій видобутку та обробки каменю, впровадження енергоощадного обладнання та сучасних систем очищення викидів і стічних вод.

Таким чином, екологічні аспекти діяльності каменеобробних підприємств є комплексними, багатофакторними та взаємопов'язаними. Вони охоплюють усі основні компоненти природного середовища та потребують системного підходу до управління, що базується на поєднанні технологічних, організаційних та нормативно-правових рішень.

Список використаних джерел:

1. Lee C., Asbjörnsson G., Hulthén E., Evertsson M. The Environmental Impact of Extraction: A Holistic Review of the Quarry Lifecycle // *Cleaner Environmental Systems*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100201>
2. Mandal I., Pal S. COVID-19 pandemic persuaded lockdown effects on environment over stone quarrying and crushing areas // *The Science of the Total Environment*. 2020. №732. С. 139281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139281>
3. Manzoor J., Khan M. Environmental Perspective of Stone Crushing and Quarrying: A Case Study // *Current World Environment*. 2020. №15. С. 68-74. DOI: <https://doi.org/10.12944/cwe.15.1.10>
4. Nagaraja V., Rakesh C., Sindhu H., Harishnaika N. Environmental Impact Assessment of Air Quality Issues Caused by the Granite Quarrying and Stone Processing Industry in Ramanagara District // *Nature Environment and Pollution Technology*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.46488/nept.2024.v24is1.003>
5. Nasseridine K., Mimi Z., Bevan B., Elian B. Environmental management of the stone cutting industry // *Journal of Environmental Management*. 2008. №90(1). С. 466-470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.11.004>
6. Pal S., Mandal I. Impacts of stone mining and crushing on environmental health in Dwarka river basin // *Geocarto International*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1597390>
7. Salem H. Evaluation of the Stone and Marble Industry in Palestine: environmental, geological, health, socioeconomic, cultural, and legal perspectives // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12526-4>
8. Strzałkowski P. Characteristics of Waste Generated in Dimension Stone Processing // *Energies*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14217232>
9. Vats S. Impact of Stone Mining on the Health and Environment: A Study of the Village of Mewat, India // *Journal of Earth and Environmental Sciences Research*. 2022. DOI: [https://doi.org/10.47363/jeesr/2022\(4\)185](https://doi.org/10.47363/jeesr/2022(4)185)
10. Yurdakul M. Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants // *Journal of Cleaner Production*. 2020. №276. 123339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123339>

УДК 631.4(477.63)

**Присяжнюк М.І., студент, 4 курс, ТЗНС-42,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Романчук Л.Д., д.с-г.н.,
проф. кафедри екології та природоохоронних технологій
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD,
ст. викладач кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПО ЗМЕНШЕННЮ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Розширення сільськогосподарського виробництва у поєднанні з антропогенним навантаженням призводить до зростання рівня забруднення ґрунтів, що становить одну з ключових екологічних проблем сучасності. Особливо актуальним це питання є для регіонів, які зазнали комплексного впливу техногенних та військових факторів, зокрема Житомирської області, значна частина якої належить до зони радіоактивного забруднення після аварії на ЧАЕС. У таких умовах ґрунти виконують бар'єрну функцію, акумулюючи важкі метали, радіонукліди та органічні поллютанти, що підвищує ризики для екосистем і здоров'я населення.

Сучасні дослідження свідчать, що джерелами забруднення ґрунтів у агроландшафтах є як традиційні фактори (надмірне внесення мінеральних добрив і пестицидів, промислові викиди), так і нові виклики, пов'язані з військовими діями, зокрема потрапляння нафтопродуктів, продуктів детонації боєприпасів та важких. Це призводить до порушення фізико-хімічних властивостей ґрунтів, зниження біологічної активності та деградації їх родючості. Водночас накопичення токсикантів у системі «ґрунт-рослина» створює потенційну загрозу продовольчій безпеці.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження екологічно безпечних технологій, спрямованих на зменшення рівня забруднення ґрунтів та відновлення їх екологічних функцій. До таких технологій належать фіторе mediaція, застосування органічних та органо-мінеральних добрив, використання біопрепаратів, агролісомеліоративні заходи, а також оптимізація систем удобрення та обробітку ґрунту. Їх застосування дозволяє не лише знижувати концентрації забруднювачів, але й покращувати структуру ґрунту, підвищувати вміст органічної речовини та відновлювати мікробіологічну активність.

Таким чином, розробка та впровадження екологічно безпечних технологій у сільському господарстві Житомирської області є важливим науково-практичним завданням, спрямованим на забезпечення сталого використання земельних ресурсів, підвищення екологічної безпеки агроландшафтів та мінімізацію негативного впливу антропогенних чинників. Це обумовлює необхідність комплексних досліджень, спрямованих на оцінку ефективності сучасних підходів до ремедіації та управління якістю ґрунтів.

Саме тому наше дослідження було спрямоване на проведення оцінки екологічного стану орних земель з урахуванням проявів деградаційних процесів. Було виявлено, що головними причинами погіршення стану ґрунтів є ерозія, перезволоження, заболочення, підкислення, дефляція та радіоактивне забруднення.

У зоні Полісся домінують природні деградаційні фактори: перезволоження охоплює понад половину території (понад 51%), радіоактивне забруднення присутнє на значних площах (приблизно 30%), а заболочення обмежує використання земель (11%). Перезволоження призводить до зниження аерації ґрунтів, ускладнює доступ рослин до поживних речовин та сприяє розвитку патогенів. Підкислення ґрунтів, яке зустрічається у 10% площ, негативно впливає на біорізноманіття і знижує ефективність дії добрив [1, 2].

У Лісостепу ситуація дещо інша – тут помітно зменшене перезволоження (близько 9%), радіоактивне забруднення практично відсутнє, проте більш активно проявляється ерозія (понад 20%), що пов'язано з більш інтенсивною сільськогосподарською діяльністю, зокрема обробітком земель на схилах. Ерозійні процеси спричиняють руйнування верхнього родючого шару, що призводить до втрати органічної речовини та погіршення структури ґрунту [5].

У цілому по області найбільш поширеним є перезволоження (39% площ) та ерозія (8%), а також радіоактивне забруднення (13%). Загальна площа деградованих земель становить близько 139 тис. га, що приблизно дорівнює 4,7% території області. Серед деградованих земель основну частку займають заболочені ділянки (понад 101 тис. га), а також кам'янисті і техногенно забруднені території [1].

Дослідження ерозійно-небезпечних ґрунтів у зоні Полісся показало, що площа таких земель складає близько 178 тис. га. Серед ерозійних процесів домінує вітрова (дефляційна) ерозія, яка охоплює близько 154 тис. га, торкаючись близько 10% площ орних земель. Водна ерозія зафіксована на 7,6 тис. га ґрунтів, переважно на схилах певних ділянок. Зокрема, близько 31,6% ґрунтів схильні до водної ерозії, серед них 8,1% слабо еродовані, 2% - середньоеродовані, і 0,5% - сильноеродовані. Така ситуація свідчить про

потребу впровадження боротьби з ерозійними процесами, зокрема агротехнічних та лісонасінних заходів [1, 2, 3].

Щодо стану порушених земель, в регіоні відзначається збільшення їх площі з 2,989 тис. га у 2022-2023 роках до 5,734 тис. га у 2024 році. Водночас площа відпрацьованих земель зросла від 1,695 до 1,888 тис. га. Однак рекультивация порушених земель наразі практично відсутня: за період 2022-2024 років її площа дорівнює нулю, а землі, що перебувають у процесі відновлення, займають менше 0,05 тис. га. Таким чином, бракує системного підходу до відновлення деградованих територій [1].

Консервация деградованих земель також не здійснюється: площа земель, які потребують консервації, становить приблизно 56,5 тис. га (1,9% території). Зокрема, площі тяжко деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених земель складають 0,22%, 0,67% та 1% відповідно. Відсутність консерваційних заходів може спричинити подальше погіршення екологічного стану регіону [1, 2].

Аналіз поживного стану ґрунтів свідчить про зниження родючості. Близько 54% площ мають низький і дуже низький вміст гумусу (менше 2%), середньозважений показник гумусу становить 2,05%. Це свідчить про важливість відновлення органічного складу ґрунту [4]. Азот у легкозасвоюваній формі присутній у дуже низьких і низьких концентраціях у 67% площ із середнім значенням 88 мг/кг. Фосфору загалом достатньо або навіть його надлишок, оскільки понад 80% площ мають середній і високий вміст рухомих форм (середньозважене - 118 мг/кг). Калій знаходиться в помірних або низьких концентраціях (54% площ з низьким і дуже низьким вмістом), його середній вміст - 80 мг/кг, що потребує уваги для збалансованого удобрення [1, 2, 3].

З огляду на виявлені проблеми, рекомендовано впроваджувати екологічно безпечні агротехнології, серед яких:

- ✓ Регенеративне землеробство з мінімальним обробітком ґрунту, що сприяє збереженню органічної речовини та покращенню структури.
- ✓ Використання покривних культур, які зменшують ерозію і покращують родючість.
- ✓ Застосування органічних добрив для збагачення гумусу і підтримки біологічної активності ґрунту.
- ✓ Впровадження нанотехнологій для підвищення ефективності мінерального удобрення.
- ✓ Оптимізація сівозмін і включення сидеральних культур для біологізації живлення рослин.
- ✓ Використання інтегрованих систем захисту рослин із поєднанням агротехнічних та біологічних методів з мінімальним застосуванням хімікатів.
- ✓ Мінімізація добрив за рахунок збалансованого та локалізованого внесення, враховуючи конкретні потреби рослин.
- ✓ Розвиток ресурсозберігаючих технологій, зокрема no-till, для боротьби з ерозією.
- ✓ Проведення системного моніторингу стану ґрунтів і використання результатів для адаптивного управління господарською діяльністю.
- ✓ Організація освітніх програм для фермерів і спеціалістів з метою поширення знань про сучасні технології збереження і відновлення ґрунтів.
- ✓ Впровадження цих заходів дозволить зменшити антропогенний вплив на ґрунти, зберегти земельні ресурси та підтримати сталий розвиток сільськогосподарського виробництва в Житомирській області.

Список використаних джерел:

1. Електронний науковий архів Сумського державного університету. – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/108cd4aa-b36e-4e82-a4c3-ea7eacc1c436/content>
2. Житомирський екологічний паспорт на 2024 рік / Житомирська міська рада. Житомир, 2024. 23-26 с. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/ecopasport%202024.pdf>
3. AGS Carbon. Офіційний сайт. <https://ags.in.ua/ua/page/ags-carbon>
4. Мельник-Шамрай В. В., Кравчук-Ободзінська Т. В., Алпатова О. М., Сікач Т. І. Біологічні індикатори деградації ґрунтів у контексті глобальних кліматичних змін. *Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України. Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 187-192. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.33.31>
5. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В. Концентрація важких металів у ґрунті при вирощуванні амаранту в умовах Житомирського Полісся. *Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України. Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 58-60. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.9>

Пузир Б.В., студент 4-го курсу
Савчук Є.М., студентка 4-го курсу
Науковий керівник: Герасимчук Л.О., к.с.-г.н.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

GAP-АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕЛЕНИХ ДАХІВ У КОНТЕКСТІ ESG ТА КЛІМАТИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ МІСЬКИХ СИСТЕМ

У сучасних умовах урбанізації та загострення глобальних екологічних викликів особливої актуальності набуває впровадження природоорієнтованих рішень (Nature-based Solutions), спрямованих на підвищення стійкості міських екосистем. Одним із таких інструментів є технологія зелених дахів (green roofs), яка поєднує екологічні, економічні та соціальні функції, забезпечуючи зниження ефекту міських теплових островів, покращення якості повітря, управління дощовими водами та підвищення енергоефективності будівель.

За останні десятиліття спостерігається стрімке зростання кількості наукових досліджень, присвячених зеленим дахам, що відображено у провідних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science. Дослідження охоплюють широкий спектр напрямів - від інженерно-технічних рішень і енергетичної ефективності до екологічних функцій і впливу на біорізноманіття. Водночас аналіз сучасного наукового доробку свідчить про його фрагментарність та відсутність узгодженого міждисциплінарного підходу до оцінювання ефективності зелених дахів.

Незважаючи на значну кількість публікацій, у науковій літературі недостатньо уваги приділяється системному виявленню прогалин у дослідженнях, зокрема щодо довгострокових екологічних ефектів, регіональної адаптації технологій, економічної доцільності та соціального сприйняття впровадження зелених дахів. Відсутність комплексного бачення цих аспектів обмежує можливість ефективного впровадження даних технологій у практику міського планування та управління природними ресурсами.

У цьому контексті особливого значення набуває застосування GAP-аналізу як інструменту ідентифікації розривів між існуючими науковими знаннями та потребами практичного застосування. Такий підхід дозволяє не лише систематизувати наявні результати досліджень, а й визначити перспективні напрями розвитку наукової думки у сфері зелених дахів.

Метою даного дослідження є проведення GAP-аналізу сучасних досліджень зелених дахів на основі наукометричних баз Scopus та Web of Science з метою виявлення ключових наукових прогалин та формування напрямів подальших досліджень.

Проведений GAP-аналіз дозволив виокремити ключові розриви між наявними науковими результатами та потребами практичного впровадження технологій зелених дахів (табл. 1).

Таблиця 1

Ключові розриви між наявними науковими результатами та потребами практичного впровадження технологій зелених дахів на основі GAP-аналізу

Проблема	Необхідність
1. Екологічний розрив	
Більшість досліджень мають короткостроковий характер і не враховують довготривалий вплив зелених дахів на екосистеми	
- недостатня оцінка впливу на ґрунтові екосистеми; - обмежені дані щодо динаміки біорізноманіття; - відсутність довгострокового моніторингу	- формування довготривалих екологічних досліджень; - інтеграція біоіндикаторних підходів; - оцінка екосистемних послуг.
2. Кліматично-регіональний розрив	
Відсутня адаптація результатів досліджень до різних кліматичних зон.	
- домінування досліджень для окремих регіонів; - слабка представленість Східної Європи та України; - відсутність урахування локальних кліматичних ризиків.	- регіонально орієнтовані дослідження; - адаптація технологій до умов Полісся, Лісостепу; - врахування кліматичних змін.
3. Інженерно-технологічний розрив	
Існує обмежена кількість досліджень щодо інноваційних матеріалів і конструктивних рішень.	
- недостатня увага до нових субстратів; - обмежене використання smart-технологій; - слабка інтеграція з іншими зеленими технологіями.	- розробка нових матеріалів; - використання IoT та цифрового моніторингу; - інтеграція з NbS та smart-city рішеннями.

4. Енергетично-економічний розрив Недостатньо досліджено економічну ефективність та окупність зелених дахів.	
- відсутність комплексних cost-benefit моделей; - слабка оцінка довгострокових вигод; - недостатня інтеграція ESG-підходів.	- розробка економічних моделей; - оцінка життєвого циклу (LCA); - врахування ESG-критеріїв.
5. Соціально-управлінський розрив Практично відсутні дослідження соціального сприйняття та управління впровадженням зелених дахів.	
- низький рівень дослідження громадської підтримки; - відсутність аналізу поведінкових факторів; - слабка інтеграція у міську політику.	- соціологічні дослідження; - інтеграція в міські стратегії; - розробка механізмів стимулювання.
6. Нормативно-освітній розрив Недостатня нормативна база та підготовка фахівців.	
- відсутність стандартів; - слабка інтеграція у будівельні норми; - недостатня освітня база.	- розробка нормативів; - впровадження освітніх програм; - підготовка фахівців.

Проведений GAP-аналіз підтверджує, що дослідження зелених дахів мають фрагментарний характер і потребують переходу до інтегрованих міждисциплінарних підходів. Основними напрямками подолання виявлених розривів є: інтеграція екологічних, економічних і соціальних аспектів; розвиток регіонально орієнтованих досліджень; впровадження інноваційних технологій та цифрових рішень; посилення нормативно-правового та освітнього забезпечення.

Отже, проведений GAP-аналіз дозволив системно ідентифікувати ключові наукові розриви у дослідженнях зелених дахів та окреслити напрями їх подолання. Встановлено, що основними обмеженнями сучасних досліджень є недостатня інтеграція екологічних, економічних і соціальних підходів, відсутність регіоналізації результатів, а також обмежена увага до довгострокових ефектів і інноваційних технологій. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання отриманих результатів для розробки стратегій впровадження зелених дахів у містах України, зокрема з урахуванням кліматичних, економічних та соціальних особливостей.

Список використаних джерел:

1. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Бельмега І. В., Шацило Є. Г. Зелені дахи як напрям наукових досліджень. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2024. № 1(55). С. 35-43. DOI: 10.32782/agrobio.2024.1.5.
2. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Весельський О.О. Переваги зелених дахів та їх розрахунок. Аграрні інновації. 2024. № 23 (2024). С. 48-57. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7>
3. Герасимчук Л.О., Рибак О.С. Наукометричний аналіз тематики «green roofs»: порівняння Scopus та Web of Science із використанням SWOT- та GAP-аналізу. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. 2025. Вип. № 141, ч. 2. С. 202-210. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.141.2.27>.
4. Рибак О. С. Зелений дах-біорізноманіття: технології будівництва, утримання, обслуговування та особливості контролю біотичної складової. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2023. № 5. С. 35-41. DOI: 10.32782/1995-0519.2023.5.4.
5. Рибак О. С., Пацева І. Г. Екологічні основи аналізу впливу «зелених» дахів на міський клімат в урбопенозах. Вісник Хмельницького національного університету. 2023. № 327. С. 103-107. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-325-5-103-107.
6. Рибак О. С., Пацева І. Г. Зелені дахи як елемент децентралізованого управління дощовою водою. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. № 2. С. 40-46. DOI: 10.32782/pcsd-2023-2-6.
7. Рибак О. С.; Пацева І. Г. Дослідження дикорослих рослин для екстенсивного озеленення дахів зони Полісся. Екологічні науки. 2024 № 1(52). С. 168-171. DOI: 10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.31.
8. Рибак О.С., Герасимчук Л.О. Комплексні рекомендації щодо вибору конструкції під екстенсивний зелений дах, підбір рослинного асортименту та особливості догляду. Екологічна безпека та технології захисту довкілля. 2024. №6. С. 84-92.
9. Рибак О.С., Герасимчук Л.О. Перспективи розвитку зелених дахів в Україні: аналіз громадського сприйняття та готовності до впровадження. Аграрні інновації. 2024. №28. С. 92-97. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.14>.
10. Романчук Л. Д., Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Використання сірої води зеленими дахами: системний аналіз та перспективи впровадження. Український журнал природничих наук. 2024. № 10. С. 254-263. DOI: 10.32782/naturaljournal.10.2024.24.

Русецька Н.М., викладач природничих наук
Житомирський агротехнічний коледж
Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НАФТОПРОДУКТІВ НА ДОВКІЛЛЯ

Актуальність цього дослідження зумовлена нагальною потребою систематизації даних про наслідки нафтового забруднення, а також необхідністю вдосконалення методів екологічного моніторингу та розробки ефективних, екологічно безпечних технологій ремедіації забруднених територій. Лише на основі об'єктивної наукової оцінки можливе формування дієвих стратегій мінімізації екологічних ризиків та відновлення порушених екосистем в умовах сучасних техногенних викликів. Сучасний етап розвитку людської цивілізації нерозривно пов'язаний із масштабним використанням вуглеводневих ресурсів, серед яких нафта та нафтопродукти продовжують відігравати домінуючу роль у світовому енергетичному балансі та промислового виробництва. Незважаючи на активний розвиток альтернативної енергетики, обсяги видобутку, транспортування, переробки та споживання нафтопродуктів залишаються колосальними. Цей безперервний цикл неминуче супроводжується ризиками техногенних аварій, витоків та хронічного забруднення, що робить нафтопродукти одними з найпоширеніших і найнебезпечніших поллютантів у глобальному масштабі. Зростаюче антропогенне навантаження на екосистеми вимагає глибокого розуміння механізмів впливу цих речовин на природне середовище. Потрапляння нафтопродуктів у довкілля викликає каскадний негативний ефект, що зачіпає всі оболонки Землі: літосферу, гідросферу, атмосферу та біосферу. Специфічні фізико-хімічні властивості вуглеводнів - їхня токсичність, гідрофобність, здатність утворювати поверхневі плівки та стійкість до швидкої деградації - призводять до порушення природних біогеохімічних циклів. З огляду на вищезазначене, комплексна екологічна оцінка впливу нафтопродуктів на довкілля набуває виняткової гостроти.

Проблема нафтового забруднення довкілля є предметом пильної уваги науковців протягом багатьох десятиліть. Фундаментальні аспекти поведінки вуглеводнів у природному середовищі висвітлені у працях багатьох вітчизняних та зарубіжних дослідників. Зокрема, вплив розливів нафти на морські екосистеми та процеси їх самоочищення детально проаналізовано у роботах Сміта та співавторів [1], які довели довготривалий характер токсичної дії важких фракцій на бентосні організми. Питанням деградації ґрунтів під впливом нафтопродуктів присвячені дослідження Коваленка та Петренка [2], де акцентується увага на зміні фізико-хімічних властивостей гумусу та пригніченні ґрунтової мікрофлори.

Сучасні вектори досліджень дедалі більше зміщуються у бік пошуку методів ліквідації наслідків забруднення. Так, Джонсон і Браун [3] у своїх публікаціях обґрунтовують переваги методів біоремедіації із застосуванням аборигенних штамів мікроорганізмів-нафтодеструкторів порівняно з традиційними механічними методами. Водночас, оцінка економічних збитків від хронічного забруднення підземних вод нафтопродуктами розкрита в монографії Іванової [4]. Незважаючи на значний масив накопичених даних, комплексний підхід до екологічної оцінки, що поєднує моніторинг усіх сфер довкілля, потребує подальшого розвитку та систематизації [5].

Нафтопродукти є складною сумішшю вуглеводнів різних класів (алкани, циклоалкани, ариени) та неуглеводневих сполук (сірковмісні, азотовмісні, кисневмісні речовини і метали). Їхня екологічна небезпека зумовлена насамперед високою токсичністю, здатністю до біоаккумуляції та мутагенною дією окремих компонентів, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Потрапляючи в природне середовище, ці речовини ініціюють складні ланцюгові реакції, що призводять до дестабілізації екосистем. Тривалість та інтенсивність цього впливу залежить від фракційного складу нафтопродуктів, кліматичних умов та ландшафтних особливостей території. Однією з найвразливіших до нафтового забруднення сфер є гідросфера. При потрапленні нафтопродуктів у водойми на їхній поверхні миттєво утворюється тонка, але щільна плівка. Вона кардинально порушує фізико-хімічні процеси на межі розділу "вода-повітря", блокуючи надходження кисню у товщу води та перешкоджаючи випаровуванню вологи. Це призводить до гіпоксії водойми, масової загибелі риби, планктону та бентосних організмів. Розчинені у воді легкі фракції чинять гостру токсичну дію на нервову систему гідробіонтів.

Таблиця 1

Класифікація нафтопродуктів за ступенем екологічної небезпеки у водному середовищі

Тип нафтопродукту	Швидкість випаровування	Ступінь проникнення в товщу	Токсичність для гідробіонтів	Стійкість у середовищі
Бензини, гас	Висока (до 75% за добу)	Низька	Дуже висока (гостра)	Низька (швидко вивітрюються)
Дизельне пальне	Середня	Середня (утворює емульсії)	Висока	Середня
Мазут, гудрон	Низька (менше 10%)	Висока (осідає на дно)	Помірна (хронічна)	Дуже висока (десятиліття)

Вплив нафтопродуктів на літосферу (грунтовий покрив) має не менш катастрофічні наслідки. Вуглеводні мають властивість обволікати ґрунтові частки, витісняючи вологу та повітря з капілярів. Це руйнує структуру ґрунту, перетворюючи його на гідروفобну масу. Внаслідок цього різко погіршується водно-повітряний режим, що робить неможливим нормальний розвиток кореневої системи рослин. Зниження пористості та порушення аерації призводять до розвитку анаеробних процесів і накопичення токсичних продуктів неповного розпаду органіки. На біохімічному рівні забруднення ґрунту нафтопродуктами спричиняє різкий зсув співвідношення вуглецю до азоту (C : N). Величезне надходження вуглецю провокує спалах активності певних груп вуглеводнеокислювальних мікроорганізмів, які для своєї життєдіяльності швидко виснажують запаси доступного азоту та фосфору. Як наслідок, ґрунт втрачає свою біологічну продуктивність, більшість корисної ґрунтової мікрофлори гине, а процеси гумусоутворення зупиняються. На відновлення таких земель природним шляхом можуть знадобитися десятки років. Атмосферне повітря також зазнає значного забруднення на всіх етапах поводження з нафтопродуктами - від видобутку до спалювання у двигунах внутрішнього згоряння. Випаровування легких фракцій (летких органічних сполук - ЛОС) з поверхонь розливів сприяє утворенню фотохімічного смогу та тропосферного озону. Крім того, спалювання нафтопродуктів супроводжується масштабними викидами парникових газів (CO₂, CH₄), оксидів сірки та азоту, які є основними каталізаторами глобальних кліматичних змін та причиною кислотних дощів.

Морський транспорт (витоки, аварії) : ██████████ (35%)
Річковий стік (змив з материків) : ██████████ (30%)
Атмосферні випадіння : ██████████ (15%)
Природні виходи нафти з дна : ██████████ (10%)
Аварії на бурових платформах : ██████████ (10%)

Рис. 1. Структура джерел надходження нафтопродуктів у Світовий океан

Окремою проблемою є міграція нафтопродуктів у підземні водоносні горизонти. Завдяки своїй рухливості, легкі та середні фракції здатні просочуватися крізь ґрунтовий профіль на значні глибини. Потрапивши у ґрунтові води, нафтопродукти можуть транспортуватися на великі відстані від початкового джерела забруднення. Це створює серйозну загрозу для джерел питного водопостачання, оскільки навіть мікроскопічні концентрації вуглеводнів (частки міліграма на літр) роблять воду непридатною для споживання людиною, надаючи їй стійкого канцерогенного потенціалу. На рівні біосфери вплив нафтопродуктів проявляється через процеси біоаккумуляції та біомагніфікації. Важкі фракції та поліциклічні ароматичні вуглеводні не розщеплюються в організмах, а накопичуються в жирових тканинах. Передаючись по трофічних ланцюгах від продуцентів (водоростей, рослин) до консументів вищих порядків (хижих риб, птахів, ссавців), концентрація токсикантів багаторазово зростає. Це призводить до мутацій, зниження репродуктивної здатності популяцій та підвищення рівня онкологічних захворювань серед тварин і людей, які споживають забруднені морепродукти чи сільськогосподарську продукцію. Для мінімізації екологічних наслідків критично важливою є система своєчасного екологічного моніторингу. Сучасна наука пропонує широкий арсенал методів: від дистанційного зондування Землі (спутникові знімки в інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах для фіксації розливів у морі) до високоточних лабораторних аналізів (газова хроматографія, мас-спектрометрія). Важливу роль відіграє біоіндикація, яка дозволяє оцінити не лише наявність забруднювача, але й реальний рівень токсичного стресу в екосистемі за допомогою чутливих організмів-маркерів. Найбільш екологічно безпечним та перспективним методом остаточного очищення довкілля є біоремедіація. Вона базується на здатності специфічних мікроорганізмів (бактерій, грибів) використовувати вуглеводні як джерело живлення, розщеплюючи їх до безпечних води та вуглекислого газу.

Висновок. Екологічна оцінка впливу нафтопродуктів на довкілля доводить, що ці речовини є надзвичайно небезпечними комплексними полюгантами, які викликають глибокі і часто незворотні зміни в усіх складових біосфери. Забруднення призводить до деградації ґрунтів, отруєння водних ресурсів, погіршення якості атмосферного повітря та пригнічення біорізноманіття.

Список використаних джерел:

1. Сміт Д. Р., Браун Т. В. (2020). Вплив вуглеводнів на морські бентосні екосистеми: довгострокові наслідки. *Екологія моря*, 45(2), 112-125.
2. Коваленко О. М., Петренко В. І. (2019). Фізико-хімічні зміни ґрунтів за умов техногенного забруднення нафтопродуктами. *Вісник агроекології*, 12(3), 44-51.
3. Джонсон А., Браун К. (2021). Біоремедіація як сучасний підхід до відновлення нафтозабруднених ландшафтів. *Журнал біотехнологій та екології*, 8(1), 88-103.
4. Іванова С. М. (2018). Хронічне забруднення підземних вод нафтопродуктами: оцінка збитків та методи очищення. Київ: Наукова думка, 210 с.
5. Мельник Ю. А., Шевченко О. В. (2022). Інтегровані системи моніторингу нафтового забруднення довкілля. *Екологічна безпека та природокористування*, 30(4), 15-28.

Савчук Є.М.,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Науковий керівник: Валерко Р.А.,
д.с.-г.н., доц., проф. кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПАСИВНИХ БУДИНКІВ

У сучасних умовах глобальних кліматичних змін екологічні аспекти функціонування житлового сектору набувають особливої актуальності. Будівлі є одним із найбільших споживачів енергії та джерел викидів парникових газів, що зумовлює необхідність впровадження нових підходів до їх проєктування та експлуатації. У цьому контексті пасивні будинки розглядаються як ефективний інструмент мінімізації негативного впливу житлового сектору на довкілля, оскільки забезпечують значне зниження енергоспоживання, скорочення викидів CO₂ та сприяють реалізації принципів сталого розвитку [1, 2].

Однією з ключових екологічних переваг пасивних будинків є суттєве зниження енергоспоживання. Завдяки високому рівню теплоізоляції, герметичності огорожувальних конструкцій, використанню енергоефективних вікон та систем вентиляції з рекуперацією тепла, такі будівлі потребують мінімальної кількості енергії для підтримання комфортного мікроклімату [3, 4]. На відміну від традиційних будівель, у яких значна частина теплової енергії втрачається через стіни, покрівлю та вікна, пасивні будинки характеризуються значно меншими тепловтратами, що дозволяє скоротити споживання енергії на опалення на 80-90 % [1, 2].

Зменшення енергоспоживання безпосередньо впливає на зниження антропогенного навантаження на довкілля, оскільки скорочується обсяг використання викопних палив, які є основним джерелом викидів парникових газів. У традиційних системах теплопостачання виробництво теплової та електричної енергії супроводжується значними викидами CO₂, що сприяє посиленню парникового ефекту та глобальному потеплінню [5-7]. Відповідно, зменшення енергоспоживання у пасивних будинках дозволяє суттєво знизити обсяги викидів CO₂, що є одним із ключових показників екологічної ефективності будівель.

Скорочення викидів діоксиду вуглецю у пасивних будинках має як локальний, так і глобальний ефект. На локальному рівні це сприяє покращенню якості атмосферного повітря, зменшенню рівня забруднення та підвищенню екологічної безпеки територій [8, 9]. На глобальному рівні зниження викидів парникових газів є важливим фактором стримування кліматичних змін і виконання міжнародних зобов'язань у сфері охорони довкілля. Дослідження показують, що широке впровадження енергоефективних технологій у будівельному секторі може суттєво зменшити загальний вуглецевий слід економіки.

Окрім зменшення енергоспоживання та викидів CO₂, пасивні будинки сприяють більш раціональному використанню природних ресурсів. Енергоефективні технології дозволяють знизити потребу у первинних енергоресурсах, а також оптимізувати використання матеріалів і конструкцій, що зменшує загальне навантаження на екосистеми. У сучасних умовах це є важливим аспектом переходу до ресурсоефективної економіки та зниження екологічних ризиків.

Важливим напрямом екологічної ефективності пасивних будинків є їх інтеграція з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі, теплові насоси та інші альтернативні технології. Поєднання пасивного стандарту з використанням відновлюваних джерел дозволяє досягти практично нульового або навіть позитивного енергетичного балансу, що відповідає сучасним концепціям «нульового» та «плюсового» енергоспоживання будівель. Це відкриває нові можливості для формування енергонезалежних та екологічно сталих житлових систем.

Пасивні будинки також відіграють важливу роль у досягненні Цілей сталого розвитку (Sustainable Development Goals, SDGs), визначених Організацією Об'єднаних Націй. Зокрема, вони сприяють реалізації цілей, пов'язаних із забезпеченням доступної та чистої енергії (ЦСР 7), формуванням сталих міст і громад (ЦСР 11), відповідальним споживанням ресурсів (ЦСР 12) та боротьбою зі зміною клімату (ЦСР 13) [2]. У цьому контексті пасивні будинки розглядаються як важливий елемент екологічно орієнтованої трансформації житлового сектору (рис. 1.).

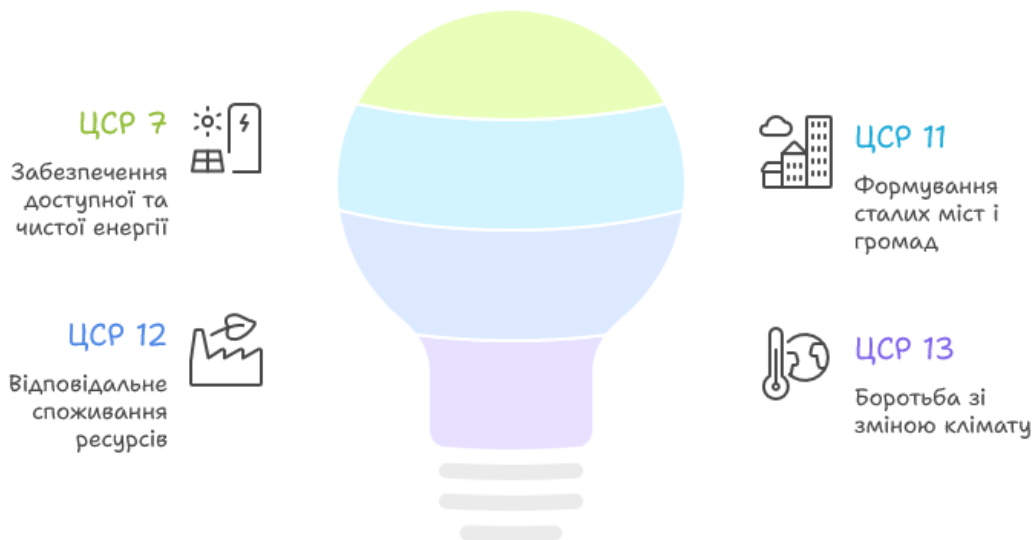


Рис. 1. Вплив пасивних будинків на сталий розвиток

Крім того, екологічні переваги пасивних будинків проявляються у покращенні якості внутрішнього середовища. Використання систем вентиляції з рекуперацією тепла забезпечує постійний приплив свіжого повітря, зменшення концентрації шкідливих речовин та підтримання оптимального рівня вологості у приміщеннях. Це сприяє створенню здорового житлового середовища, що має важливе значення для збереження здоров'я населення та підвищення якості життя.

В умовах України екологічні аспекти пасивних будинків мають особливе значення, оскільки дозволяють поєднати завдання зменшення енергоспоживання, скорочення викидів CO₂ та підвищення екологічної безпеки територій. Впровадження таких будинків у процесі модернізації житлового фонду та післявоєнної відбудови може стати важливим кроком до формування сталого та екологічно орієнтованого розвитку держави.

Отже, пасивні будинки є ефективним інструментом зменшення негативного впливу житлового сектору на довкілля. Вони забезпечують значне скорочення енергоспоживання та викидів CO₂, сприяють раціональному використанню ресурсів і відіграють важливу роль у досягненні цілей сталого розвитку. У цьому контексті впровадження пасивного будівництва слід розглядати як один із ключових напрямів екологічної модернізації житлового сектору.

Список використаних джерел:

1. Anand V., Kadiri V. L., Putcha C. Passive buildings: a state-of-the-art review. *J Infrastruct Preserv Resil.* 2023. 4(1):3. doi: 10.1186/s43065-022-00068-z.
2. Goubran S. et al. Green building standards and the United Nations' Sustainable Development Goals. *Journal of Environmental Management.* 2023. Т. 326. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116552>.
3. Пасивні будинки та їх принципи проектування. URL: <https://avenston.com/articles/passive-houses/>.
4. Рівень теплоізоляції «Пасивних Будинків». URL: <https://passivehouse-igua.com/passive-house/the-level-of-insulation-passive-houses/>.
5. Crippa M., Guizzardi D., Banja M. та ін. CO₂ emissions of all world countries. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. 230 p. DOI: <https://doi.org/10.2760/730164>.
6. Huang W., Saydaliev H. B., Iqbal W., Irfan M. Measuring the impact of economic policies on CO₂ emissions: Ways to achieve green economic recovery in the post-COVID-19 era. *Climate Change Economics.* 2022. Vol. 13, No. 3. Art. 2240010. DOI: <https://doi.org/10.1142/S2010007822400103>.
7. Zou S., Zhang T. CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth nexus: Evidence from 30 provinces in China. *Mathematical Problems in Engineering.* 2020. Art. 8842770. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8842770>.
8. Герасимчук Л., Валерко Р., Розгон В., Маліновська В. Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. *Проблеми хімії та сталого розвитку.* 2023. №3. С. 49-58. doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>.
9. Кагукіна А. М., Пацева І. Г., Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Оксид вуглецю як компонент системи парникових газів: екологічні аспекти та динаміка викидів у місті Житомир. *Екологічні науки.* 2025. № 5(62), Ч. 2. С.101-105.

**Сиворотка Н.М., студентка 4 курсу академічної групи ПО 4/1,
інженерно-енергетичного факультету
Науковий керівник: Курепін В.М., к.е.н., доц.
Миколаївський національний аграрний університет**

АДАПТАЦІЯ ПРОМИСЛОВОСТІ ПІВДНЯ УКРАЇНИ ДО ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ ЧЕРЕЗ РЕЦИРКУЛЯЦІЮ ВОДИ

Річки Південний Буг і Дніпро традиційно забезпечували доступ промислових підприємств до поверхневих водних ресурсів. Проте зменшення стоку та підвищення температури впливають на доступність виробничих потужностей до води. Це створює ризики для безперервності виробництва. Також одночасно зростають вимоги до якості води, що додатково ускладнює її використання без попередньої обробки.

У промислових центрах, зокрема Миколаїв, залежність підприємств від стабільного водопостачання є критичною [1, с. 247]. Деякі підприємства, особливо харчової промисловості, для технологічних процесів використовують значні обсяги води. У періоди обмеженого водопостачання це може призводити до тимчасової зупинки виробництва, зниження продуктивності та якості продукції. Для таких підприємств вода є не лише технологічним ресурсом, а й складовою продукції, тому її якість і доступність мають вирішальне значення.

Адаптація до нових умов передбачає перехід від екстенсивної моделі водокористування до ресурсоефективної. Впровадження систем рециркуляції води спонукає керівництво підприємств до модернізації очисних споруд та використання альтернативних джерел, таких як дощова або очищена стічна вода.

В умовах недостатньої кількості води організація оборотних циклів, у яких вода після очищення повторно використовується для технічних потреб, дозволяє суттєво зменшити залежність від зовнішніх джерел. Впровадження таких рішень дає відчутний ефект, знижуючи витрати та підвищуючи стійкість виробництва [2, с. 13].

Адаптація до водного дефіциту включає не тільки технологічні зміни, а й управлінські рішення, які спрямовані на оптимізацію водоспоживання. Управлінські рішення включають системи моніторингу витрат води; модернізацію обладнання; навчання персоналу ефективному використанню ресурсів тощо. За таких умов підприємства отримують і екологічні переваги, та економічні вигоди. Додатково зменшуються витрати на водопостачання та водовідведення.

У складних умовах водного дефіциту за рахунок впровадження рециркуляції води на підприємствах можливо досягати значної економії ресурсів та підвищення екологічної безпеки. На переробних заводах, зокрема харчової галузі, вода широко використовується для миття сировини, обладнання, тари тощо. Тому впровадження локальних очисних станцій, де стічні води будуть проходити багаторівневе очищення, від механічного до біологічного та мембранного, суттєво зменшать споживання питної води та знизять навантаження на міські каналізаційні системи.

Набувають поширення у виноробній галузі впровадження рециркуляційних систем. В умовах посушливого клімату, коли кожен літр води має значення [3, с. 225], важливо вторинно використовувати очищену воду. Подібні рішення економлять підприємствам ресурси, сприяють формуванню екологічно відповідального виробництва.

Сфера енергетики південного регіону України, зокрема теплоелектростанції, використовують воду переважно для охолодження обладнання. Водопостачання з використанням градирень, де вода циркулює за замкненим циклом, охолоджується і повторно використовується. Це так звані оборотні системи. На об'єктах енергетики вода може використовуватися десятки разів, перш ніж потребуватиме заміни або додаткового очищення. Енергетичні підприємства додатково можуть використовувати системи очищення технічних вод від нафтопродуктів та хімічних домішок. Після очищення води їх повертають до виробничого циклу.

Ефективність впровадження рециркуляції води на підприємствах півдня України очевидна. За допомогою інноваційних рециркуляційних технологій зменшують витрати на водопостачання, що є особливо актуальним для регіонів із обмеженими ресурсами. Впровадження замкнених чи частково замкнених системи водообігу скорочують обсяги забору води [4, с. 301] з централізованих мереж, природних джерел. Зменшення споживання свіжої води на десятки відсотків для підприємств відображається на зниженні витрат.

Економічний ефект від впровадження рециркуляції води на підприємствах досягається також за рахунок скорочення платежів за водовідведення. Чим менше підприємство скидає стічні води в каналізаційну систему та природні водойми, тим нижчими є відповідні збори. Впроважуючи оборотні

системи, підприємства уникають додаткових витрат, пов'язаних із перевищенням допустимих норм забруднення.

Довгострокова окупність інвестицій у такі технології є ще одним важливим аспектом економічної ефективності [5, с. 63]. Треба враховувати початкові витрати на модернізацію, вони можуть бути значними. часом вони компенсуються за рахунок зниження операційних витрат. Завдяки економії води та зменшення платежів за її відведення протягом кількох років окупається реконструкція водооборотних циклів на промисловому підприємстві. Враховуємо непрямі економічні вигоди - підвищення надійності виробництва, зменшення ризиків перебоїв у водопостачанні, покращення екологічного іміджу.

Розбудова систем рециркуляції води на підприємствах півдня Україна часто стримується недостатнім фінансуванням. Особливо це відчутно у регіонах Миколаївської та Одеської областях. Достатня кількість підприємств досі працює на обладнанні, встановленому десятиліття тому [6, с. 89]. Зрозуміло, воно потребує комплексної модернізації, яке включає і закупівлю сучасних очисних систем, й реконструкцію всієї водогосподарської інфраструктури.

Технічні труднощі пов'язані насамперед із необхідністю інтеграції нових технологій у вже існуючі виробничі процеси. На енергетичних підприємствах із неперервним циклом роботи будь-яке втручання в систему водопостачання зумовлює зупинку виробництва. Це створює додаткові витрати та ризики [7, с. 346]. Крім того, сучасні системи очищення та рециркуляції води потребують точного налаштування та регулярного технічного обслуговування. Для цього потрібні кваліфіковані фахівці, але їх нажалі недостатньо. Дефіцит таких кадрів може призвести до неефективної експлуатації обладнання або навіть його простою. Додаткові труднощі - складні бюрократичні процедури погодження проєктів, невизначеність у нормативно-правовому регулюванні також формують комплекс обмежень та суттєво сповільнюють впровадження водозберігаючих технологій.

Отже, адаптація промисловості на півдні України до умов водного дефіциту є стратегічно необхідною. Зменшити навантаження на водні джерела, оптимізувати витрати та підвищити екологічну безпеку підприємств можливо забезпечивши впровадження рециркуляції води, модернізацію інфраструктури та ефективне управління водними ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Піндера М. В. Екологічний моніторинг підземних вод на водозаборах підприємств. Гірничі, будівельні, природоохоронні технології та екологія: тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки (м. Житомир. 12-17 травня 2025 р.). Житомир: Житомирська політехніка, 2025. С. 247-248. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21908>.
2. Іваненко В. С., Курепін В. М. Захист водних ресурсів та джерел водопостачання // Захист водних ресурсів - Глобальні виклики, загрози опустелювання територій, міжнародні зобов'язання держав світу : тези доповідей з щорічного тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 22 березня 2022 року. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 9-13. URL <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11213>.
3. Іваненко В. С., Курепін В. М. Подолання кризових явищ у аграрній сфері за допомогою технології доповненої реальності. Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., присв. 90-річчю з дня народження проф.а Г. П. Жемели (м. Полтава, 30 верес. 2023 р.). Полтава : ПДАУ, 2023. С. 224-226. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15512>.
4. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226>.
5. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V47\(2024\)-09](https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09).
6. Іваненко В. С. Екокроки для відновлення природи України після війни. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 28-30 травня 2025 р.) / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв: МНАУ, 2025. С. 88-90. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-27>.
7. Іваненко В. С. Специфіка розвитку підприємств у посткризових умовах : тези доповідей XII Всеукраїнської наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 29-31 жовтня 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 344-346. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23086>.

УДК 631.147:502.131.1:330.131.7

**Сігіда І.В., здобувач вищої освіти освітнього ступеня «магістр» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Науковий керівник: Валерко Р.А.,
д.с.-г.н., доц., проф. кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА НА КЛЮЧОВІ ЦІЛІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

У сучасних умовах трансформації аграрного сектору органічне виробництво розглядається як один із ключових інструментів досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР), оскільки забезпечує комплексний позитивний вплив на складові розвитку.

Однією з найважливіших функцій органічного виробництва є сприяння досягненню ЦСР 2 «Подолання голоду», яка передбачає забезпечення продовольчої безпеки та розвиток сталого сільського господарства. Органічне землеробство сприяє підвищенню якості продукції, збереженню родючості ґрунтів та формуванню стійких агроєкосистем, що є основою довгострокової продовольчої безпеки [1, 2].

Значний внесок органічне виробництво здійснює у досягненні ЦСР 6 «Чиста вода та санітарія», оскільки воно передбачає мінімізацію використання хімічних речовин та зменшення ризиків забруднення водних ресурсів. Відмова від синтетичних добрив і пестицидів сприяє зниженню рівня нітратного та хімічного забруднення підземних і поверхневих вод, що є важливим фактором забезпечення екологічної безпеки та здоров'я населення [3, 4].

Органічне виробництво також безпосередньо пов'язане з реалізацією ЦСР 12 «Відповідальне споживання та виробництво», оскільки воно орієнтоване на раціональне використання ресурсів, зменшення відходів та впровадження екологічно безпечних технологій. У цьому контексті органічне господарювання сприяє формуванню замкнених циклів виробництва, підвищенню ресурсоефективності та розвитку екологічно відповідального споживання [1, 5].

Важливим аспектом є також внесок органічного виробництва у досягнення ЦСР 13 «Боротьба зі зміною клімату». Органічні технології сприяють зменшенню викидів парникових газів, підвищенню здатності ґрунтів до акумуляції вуглецю та зниженню енергозатратності виробництва. Це дозволяє підвищити адаптаційний потенціал аграрного сектору до кліматичних змін і зменшити його негативний вплив на кліматичну систему [2].

Не менш важливим є внесок органічного виробництва у реалізацію ЦСР 15 «Збереження екосистем суші», яка передбачає охорону земельних ресурсів, збереження біорізноманіття та відновлення деградованих екосистем. Органічне господарювання сприяє відновленню природних екосистем, підвищенню біологічного різноманіття та зменшенню деградації ґрунтів, що є важливим фактором екологічної стійкості територій [1] (рис. 1).



Рис. 1. Зв'язок органічного виробництва з Цілями сталого розвитку

Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення (ЦСР) дозволяє визначити його роль у забезпеченні екологічної, соціальної та економічної збалансованості аграрного сектору. З огляду на багатофункціональний характер органічного виробництва, оцінювання здійснювалося за ключовими ЦСР,

які найбільш тісно пов'язані з аграрною діяльністю, зокрема у сфері продовольчої безпеки, охорони здоров'я, раціонального використання природних ресурсів та збереження екосистем.

Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення ЦСР наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення ЦСР

ЦСР	Характер впливу	Бал
ЦСР 2	Підвищення якості продукції, розвиток сталого сільського господарства	3
ЦСР 3	Зменшення впливу пестицидів на здоров'я населення	3
ЦСР 6	Зниження забруднення водних ресурсів	3
ЦСР 12	Впровадження сталих моделей виробництва	3
ЦСР 13	Зменшення викидів парникових газів	2
ЦСР 15	Збереження біорізноманіття та екосистем	3

Аналіз наведених у таблиці даних свідчить, що органічне виробництво має високий рівень позитивного впливу на більшість досліджуваних Цілей сталого розвитку. Зокрема, максимальні значення отримано за ЦСР 2, 3, 6, 12 та 15, що підтверджує значний потенціал органічного сектору у забезпеченні продовольчої безпеки, зниженні екологічних ризиків та збереженні природних екосистем. Деяко нижчий рівень впливу зафіксовано щодо ЦСР 13, що обумовлено необхідністю додаткового впровадження кліматично орієнтованих технологій та заходів декарбонізації (рис. 2).

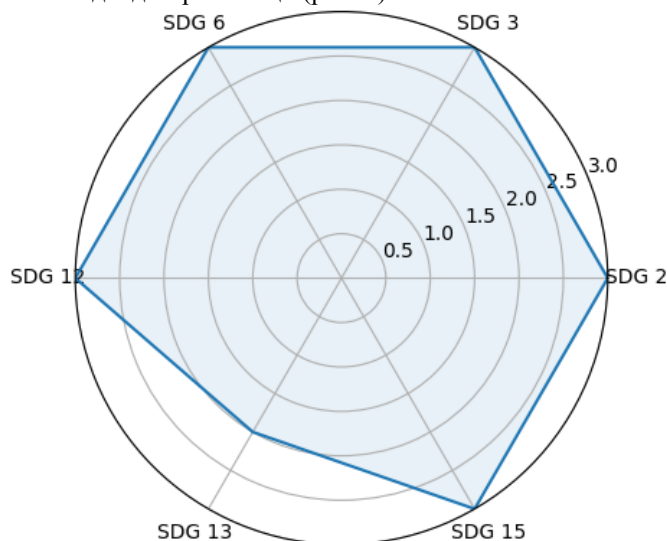


Рис. 2. Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку

З метою узагальнення результатів оцінювання було розраховано інтегральний показник внеску органічного виробництва у досягнення ЦСР. Отримане значення індексу становить: $I_{SDG} = 2,83$.

Отриманий результат свідчить про високий рівень внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку, що підтверджує його ефективність як інструменту забезпечення екологічної безпеки, підвищення якості життя населення та формування стійких моделей господарювання. Таким чином, органічне виробництво доцільно розглядати як один із пріоритетних напрямів трансформації аграрного сектору в умовах переходу до сталого розвитку.

Список використаних джерел:

1. Pânzaru R. L., Firoiu D., Ionescu G. H. et al. (2023). Organic Agriculture in the Context of 2030 Agenda Implementation in European Union Countries. *Sustainability*, 15(13), 10582. <https://doi.org/10.3390/su151310582>.
2. Nowak A., Kobiałka A. (2024). The significance of organic farming in the European Union from the perspective of sustainable development. *Economics and Environment*, 88(1), p. 710. doi:[10.34659/eis.2024.88.1.710](https://doi.org/10.34659/eis.2024.88.1.710).
3. Романчук Л. Д., Валерко, Р. А. Органічне сільське господарство як чинник впливу на рівень нітратів у воді з нецентралізованих джерел сільських населених пунктів. *Scientific Progress & Innovations*, 2024. № 27 (4). С. 98-104. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.16>.
4. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. (2021). Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 17-26. https://doi.org/10.15421/2021_71.
5. Calabro G., Vieri S. (2023). Limits and potential of organic farming towards a more sustainable European agri-food system. *British Food Journal*, 126(1). <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1067>.

**Тимошук С.С., студент IV курсу,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища»
Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир**

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Українське Полісся традиційно вважається «водонапірною вежею» та «легенями» України, оскільки цей регіон характеризується розгалуженою гідрографічною мережею, значною заболоченістю та наявністю унікальних озерних комплексів (зокрема, Шацьких озер). Водні екосистеми Полісся відіграють критичну роль у формуванні гідрологічного режиму не лише на національному, але й на транскордонному рівнях, живлячи басейни Дніпра, Прип'яті та Західного Бугу. Проте сьогодні ці тендітні природні комплекси стикаються з безпрецедентними викликами. Зміни клімату, що супроводжуються підвищенням середньорічних температур та зміщенням сезонів опадів, призводять до катастрофічного обміління річок, пересихання малих водотоків та деградації водно-болотних угідь, що ставить під загрозу існування ендемічних видів флори та фауни.

Окрім глобальних кліматичних змін, водні об'єкти регіону зазнають колосального антропогенного тиску, який має глибоке історичне коріння. Масштабні меліоративні роботи (осушення боліт), що активно проводилися у другій половині XX століття, докорінно змінили гідрологічний баланс територій, перетворивши природні резервуари вологи на вразливі до пожеж та вітрової ерозії угіддя. Додатковим і найбільш специфічним фактором стресу залишається радіоактивне забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Водні артерії зони відчуження досі відіграють роль міграційних шляхів для довгоіснуючих радіонуклідів, що вимагає постійного моніторингу їхньої акумуляції у донних відкладах та гідробіонтах. Також загострюється проблема евтрофікації через потрапляння у водойми неочищених стічних вод і змивів з аграрних угідь.

З огляду на євроінтеграційний курс України, актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю імплементації Водної рамкової директиви ЄС (ВРД ЄС), яка вимагає переходу від адміністративно-територіального до басейнового принципу управління водними ресурсами та досягнення «добраго» екологічного стану вод. Комплексна екологічна оцінка водних екосистем Полісся є фундаментом для розробки Планів управління річковими басейнами (ПУРБ). Без глибокого розуміння сучасних гідрохімічних, гідроморфологічних та біологічних процесів неможливо розробити дієві заходи з ренатуралізації (відновлення) порушених екосистем, збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки держави в умовах війни та кліматичної кризи. Дослідження екологічного стану водних екосистем Полісся спирається на ґрунтовні праці вітчизняних та закордонних науковців. Базові принципи гідроекологічної оцінки та функціонування річкових екосистем України детально розкрито у працях В.Д. Романенка та С.А. Афанасьєва [1,2], які заклали основи використання методів біоіндикації для визначення якості води. Гідрохімічні аспекти, зокрема динаміка біогенних елементів та важких металів у басейнах Прип'яті та Десни, глибоко проаналізовані школою В.К. Хільчевського та В.І. Осадчого [3,4]. Радіоекологічний стан водойм зони відчуження та шляхи міграції радіонуклідів у харчових ланцюгах гідробіонтів є предметом багаторічних досліджень І.М. Гудкова та Д.І. Гудкова [5]. Останніми роками значна увага приділяється впливу кліматичних змін на водні ресурси Полісся, що відображено у публікаціях В.О. Гребеня, де наголошується на трансформації гідрологічного режиму та зниженні меженого стоку [6]. Разом з тим, незважаючи на значний масив даних, проблема комплексного застосування європейських індексів для оцінки поліських водойм в умовах сучасного багатофакторного впливу потребує подальшого вивчення.

Водний фонд українського Полісся охоплює значну частину Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської та Чернігівської областей. Гідрологічна мережа тут формується переважно рівнинними річками з повільною течією, широкими заплавами та високим рівнем природної заболоченості. Завдяки високому вмісту гумінових речовин, що вимиваються з торфовищ, вода в багатьох поліських річках (наприклад, Уборть, Словечна) має характерний буруватий відтінок, підвищену кольоровість та природно низький рівень рН. Ці природні особливості створюють унікальні гідрохімічні умови, які необхідно враховувати при проведенні екологічної оцінки, щоб не сплутати природні болотні води з антропогенно забрудненими об'єктами. Згідно з сучасними європейськими підходами, загальна оцінка базується на зваженій сумі індивідуальних параметрів (розчинений кисень, БСК5, азот, фосфор тощо), що виражається формулою:

$$WQI = \sum_{i=1}^n w_i q_i$$

де w_i - відносна вага i -го параметра, а q_i - показник якості води за i -м параметром. Використання цієї моделі дозволяє звести складний масив багаторічних гідрохімічних даних до єдиного індексу, зрозумілого для прийняття управлінських рішень.

Аналіз гідрохімічного стану показує чітку тенденцію до погіршення якості води у пониззях річок, де акумулюються наслідки аграрного та комунального впливу. Основними забруднювачами виступають сполуки

азоту та фосфору (біогенні елементи), які провокують процеси антропогенної евтрофікації - «цвітіння» води та зниження концентрації розчиненого кисню, що є критичним для виживання реофільних видів риб.

Таблиця 1

Усереднені гідрохімічні показники типових річок Полісся (2020-2025 рр.)

Показник	Природний фон (верхів'я)	Антропогенно змінена ділянка	ГДК для рибогосп. водойм
Розчинений кисень, мг O_2 /дм ³	7.8 - 8.5	4.2 - 5.1	Не менше 4.0
БСК5 (біохім. споживання кисню), мг O_2 /дм ³	1.5 - 2.0	4.8 - 6.5	3.0
Азот амонійний (NH_4^+), мг/дм ³	0.1 - 0.3	1.2 - 2.5	0.5
Фосфати (PO_4^{3-}), мг/дм ³	0.05 - 0.1	0.4 - 0.9	0.17
Завислі речовини, мг/дм ³	5.0 - 8.0	25.0 - 45.0	Не більше +0.25

Як видно з таб. 1, на антропогенно змінених ділянках фіксується системне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) за показниками біохімічного споживання кисню (БСК5) та біогенними елементами. Особливо загрозливою є ситуація з фосфатами, основними джерелами яких є використання фосфатвмісних мийних засобів у населених пунктах без належних очисних споруд та змив мінеральних добрив з полів. Це призводить до зміни трофічного статусу водойм з мезотрофного на евтрофний. Важливою складовою екологічної оцінки є біоіндикація, оскільки хімічний аналіз фіксує стан водойми лише в момент відбору проби, тоді як живі організми відображають довготривалий вплив стресорів. Дослідження макрозообентосу (донних безхребетних) поліських річок демонструє збіднення видового складу. У забруднених ділянках зникають чутливі види (личинки веснянок, одноденок), натомість домінують толерантні до нестачі кисню організми (трубочники, личинки хірономід). Індекс сапробності на більшості досліджених рівнинних ділянок коливається в межах 1.8-2.3, що відповідає класу beta-мезосапробних (помірно забруднених) вод. Значним історичним тягарем для екосистем Полісся є наслідки гідромеліорації. Створені у минулому столітті осушувальні системи сьогодні функціонують неефективно. Зниження рівня ґрунтових вод призвело до деградації торф'яників, які втратили здатність утримувати вологу під час весняних паводків і поступово віддавати її влітку. Це є однією з головних причин катастрофічного падіння рівня води у річках та колодязях під час літньої межени. Радіоекологічний фактор залишається специфічним маркером екологічного стану вод українського та білоруського Полісся. Найбільшу небезпеку становлять довгоіснуючі ізотопи стронцію (⁹⁰Sr) та цезію (¹³⁷Cs). Хоча їх концентрація у воді річки Прип'ять значно знизилася порівняно з першими роками після аварії на ЧАЕС і наразі перебуває в межах норми, основна маса радіонуклідів депонувалася у донних відкладах закритих озер та стариць, де відбувається їхнє вторинне залучення у біологічний кругообіг.

Вирішення комплексу цих проблем вимагає негайного впровадження інтегрованого управління водними ресурсами на засадах ВРД ЄС. Головним пріоритетом має стати не просто очищення стоків, а масштабна ренатуралізація порушених екосистем. Це передбачає відновлення меандрів (природної звивистості русел), руйнування старих неробочих меліоративних каналів для повторного заболочення територій, та створення буферних захисних смуг з лісової рослинності вздовж берегів для перехоплення аграрного стоку. Тільки системний екосистемний підхід здатний зупинити деградацію поліських водойм. Важливо усвідомити, що річка - це не лише русло з водою, а складна екосистема, яка нерозривно пов'язана зі своїм водозбором. Інвестиції у збереження водно-болотних угідь Полісся є найефективнішим інструментом пом'якшення наслідків кліматичних змін та забезпечення гідрологічної безпеки всього Придніпровського регіону.

Висновок. Екологічна оцінка водних екосистем українського Полісся вказує на їхній перехідний та вкрай вразливий стан. З одного боку, регіон досі зберігає унікальні куточки дикої природи з високим рівнем біорізноманіття, з іншого - екосистеми перебувають під постійним багатофакторним пресингом. Синергічна дія глобальних кліматичних змін, історичних гідроморфологічних трансформацій та сучасного дифузного забруднення аграрного сектору призводить до деградації малих і середніх річок. Для стабілізації ситуації необхідна термінова імплементація планів управління річковими басейнами, суворий контроль за використанням фосфатів та агрохімікатів, а також реалізація масштабних проєктів з ренатуралізації водно-болотних угідь, що дозволить відновити природний гідрологічний баланс «водонапірної вежі» України.

Список використаних джерел:

1. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксюк О. П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
2. Афанасьєв С. А. Узгодження європейських та національних підходів до оцінки екологічного стану водних об'єктів методами біоіндикації. Гідробіологічний журнал. 2006. Т. 42, № 3. С. 3-14.
3. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії. Київ: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
4. Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Линник П. М. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод України. Київ: Ніка-Центр, 2013. 240 с.
5. Гудков І. М. Радіоекологія: Навчальний посібник. Херсон: Олді-Плюс, 2014. 470 с.
6. Гребінь В. О. Сучасні гідрологічні зміни у басейнах річок України. Київ: Ніка-Центр, 2010. 424 с.

Ткаченко О.Р., студент 4-го курсу
Пузир Я.В., студент 4-го курсу
Науковий керівник: Герасимчук Л.О., к.с.-г.н.,
доц. кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК: ІНТЕГРАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ПРИРОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Сталий розвиток є ключовою парадигмою сучасного природокористування, що передбачає збалансування екологічних, економічних і соціальних інтересів суспільства. Водночас одним із найсерйозніших викликів для досягнення сталого розвитку є зростання масштабів і частоти лісових пожеж [1-5].

Лісові пожежі не лише знищують рослинний покрив і фауну, а й порушують природні процеси функціонування екосистем, сприяють деградації ґрунтів, зміні гідрологічного режиму територій і посиленню кліматичних змін. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах глобального потепління, урбанізації та зростання антропогенного навантаження [1-5].

Для України питання лісових пожеж є критично важливим, зважаючи на значні площі лісів, кліматичні зміни та додаткові ризики, пов'язані з воєнними діями.

Лісові пожежі мають комплексний вплив на всі складові сталого розвитку. В екологічному вимірі пожежі спричиняють втрату біорізноманіття та руйнування природних середовищ існування, деградацію ґрунтів і зниження їх родючості, порушення водного балансу територій, значні викиди парникових газів, що призводить до зниження стійкості екосистем і порушення їх здатності до самовідновлення. Економічні наслідки включають втрати лісових ресурсів, витрати на ліквідацію пожеж, зниження продуктивності земель, збитки для лісового та аграрного секторів. Соціальні ризики проявляються у загрозі для життя та здоров'я населення, погіршенні якості повітря, зниженні рівня екологічної безпеки громад, втраті рекреаційних ресурсів.

Серед основних факторів виникнення пожеж - кліматичні зміни (підвищення температури, посухи), антропогенна діяльність (підпали, необережне поводження з вогнем), техногенні чинники, а також воєнні дії та вибухи. Важливим є те, що більшість пожеж має антропогенне походження, що підкреслює необхідність управління людською діяльністю.

Ефективне управління пожежами є невід'ємною складовою сталого розвитку. Основні підходи включають: моніторинг та раннє попередження, використання супутникових даних, застосування безпілотних літальних апаратів, сенсорні мережі для контролю параметрів середовища. Значна роль належить й цифровим технологіям - геоінформаційні системи (GIS), аналіз великих даних, моделювання ризиків. Серед превентивних заходів варто виділити створення протипожежних бар'єрів, регулювання лісокористування, підвищення екологічної свідомості населення. Інституційні механізми включають наступні елементи: розробка стратегій управління ризиками, міжвідомча координація, інтеграція екологічної політики у регіональний розвиток.

Проблема лісових пожеж має прямий зв'язок із Цілями сталого розвитку (рис. 1):

- ЦСР 13 (Боротьба зі зміною клімату): лісові пожежі є важливим джерелом викидів CO₂ і втрати біомаси, а розробка інноваційних підходів дозволяє прогнозувати екологічні ризики, запобігати масштабним займанням і пом'якшувати кліматичні наслідки;

- ЦСР 15 (Збереження екосистем суші): моніторинг пожеж дозволяє виявляти уразливі території та планувати заходи для відновлення лісів, деградованих земель і біорізноманіття;

- ЦСР 12 (Відповідальне споживання та виробництво): застосування оцінки екологічних ризиків сприяє впровадженню сталих практик у лісогосподарській діяльності, моніторингу ресурсів і запобіганню надмірному виснаженню екосистем;

- ЦСР 9 (Інновації та інфраструктура): використання цифрових технологій, алгоритмів машинного навчання та аналітики даних у сфері природокористування сприяє формуванню інноваційних систем екологічного моніторингу;

- ЦСР 11 (Сталий розвиток міст і громад): формування локальних систем попередження пожеж і підвищення екологічної безпеки громад;

- ЦСР 6 (Чиста вода та санітарія) (опосередковано): лісові пожежі впливають на якість водних ресурсів через ерозію ґрунтів і зміну водного балансу; прогнозування ризиків допомагає запобігати цим вторинним наслідкам.

Крім Цілей сталого розвитку, оцінка ризиків лісових пожеж має синергію з національними та регіональними пріоритетами: відповідає положенням Стратегії розвитку лісового господарства України до

2035 року, Водної стратегії України до 2050 року та підтримує Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату до 2030 р.

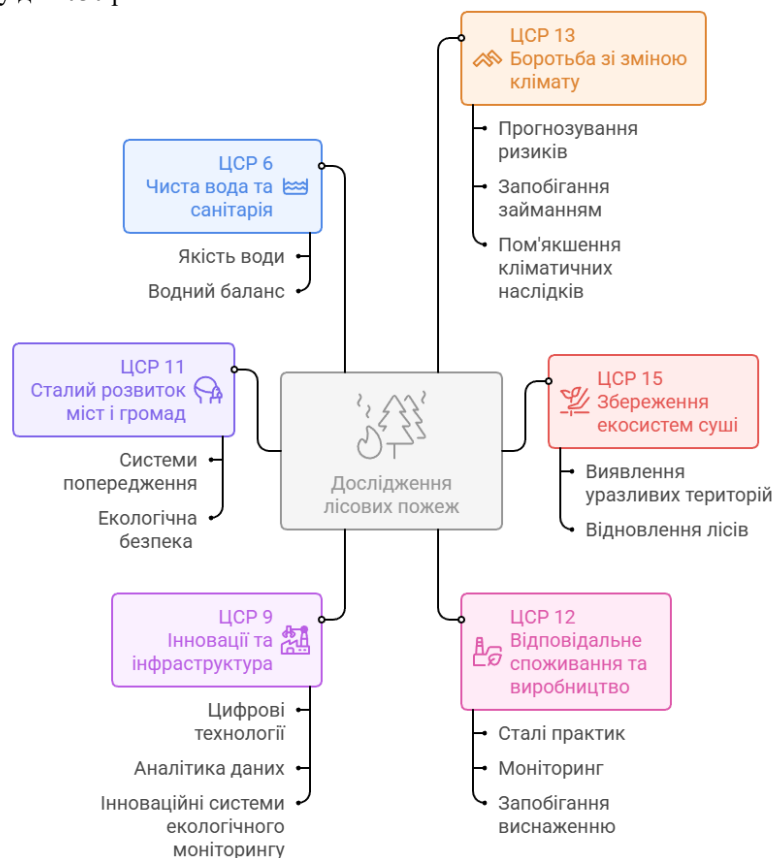


Рис. 1. Зв'язок лісових пожеж Цілями сталого розвитку

Для підвищення ефективності управління лісовими пожежами доцільно: впроваджувати системи цифрового моніторингу; розвивати GIS-аналітику; створювати системи раннього попередження; інтегрувати екологічні ризики у стратегічне планування; посилювати екологічну освіту населення; впроваджувати принципи ESG у лісове господарство.

Отже, лісові пожежі є системним викликом сталому розвитку, що впливає на екологічну, економічну та соціальну стабільність територій. Їх наслідки виходять за межі локальних екосистем і мають глобальний характер, особливо в контексті кліматичних змін. Ефективне управління ризиками лісових пожеж потребує комплексного підходу, що поєднує моніторинг, цифрові технології, управлінські рішення та екологічну політику. Застосування сучасних інструментів і принципів сталого розвитку дозволяє не лише мінімізувати негативні наслідки пожеж, а й формувати стійкі екосистеми та безпечне середовище для життя населення.

Список використаних джерел:

1. Герасимчук Д. О., Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Від алгоритмів до довкілля: картографія наук про відстань Хеммінга за даними Scopus. *Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 299-305. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.42>.
2. Герасимчук Д. О., Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацев І. С., Кириленко Н. П. Екологічні ризики лісових пожеж в Україні з урахуванням кліматичних, антропогенних та воєнних детермінантів. *Екологічні науки*. 2025. № 6(63). С. 216-220. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.34>.
3. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г., Пацев І. С. Лісові пожежі у фокусі кластерного аналізу: екосистемні та технологічні аспекти через призму VOSviewer. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 270-279. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.29>.
4. Herasymchuk L., Patseva I., Valerko R., Ustylenko V. Military actions in Ukraine as ecocide and challenge to Formulas of peace. *Present Environment and Sustainable Development*. 2024. Vol. 18, no 2. P. 275-293. DOI: <https://doi.org/10.47743/pesd2024182015>.
5. Patseva I., Herasymchuk L., Kahukina A., Patsev I., Valerko R., Ustylenko V. The impact of forest fires in the context of climate change: an interdisciplinary analysis. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. 3 (83). P. 25-37. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.331295>

**Ткачук Г.В., студентка 2 курсу, групи ЕО-44
здобувач вищої освіти освітнього ступеня
«бакалавр» спеціальності 101 «Екологія»
Науковий керівник: Валерко Р.А.,
д.с.-г.н., проф. кафедри екології та
природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН У ВІДНОВЛЕННІ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

У нинішній час, коли людська діяльність надзвичайно інтенсивна, питання знецінення земель стає вкрай помітним. Масштабні ділянки ґрунтів потерпають від шкідливих трансформацій через водну чи вітрову ерозію, забруднення хімікатами, виснаження запасів поживних елементів та руйнування їхньої природної будови. Як наслідок, це тягне за собою зменшення родючості, зникнення різноманіття життя та погіршення загальної екології певних місцевостей.

Один з ґрунтовних та екологічно прийнятних шляхів реабілітації деградованих територій - це залучення рослинності. Завдяки властивостям, закладеним у них самою природою, рослини можуть поліпшувати земну структуру, вмщувати більше органіки, знижувати концентрацію шкідливих речовин та допомагати відновлюватися природним угрупованням.

Зменшення якості ґрунту полягає у втраті його фізичних, хімічних, біологічних та екологічних характеристик, що може бути спричинене як природньо, так і діями людини. Цей процес виявляється у зменшенні кількості корисних та органічних сполук, спричиненні ерозії, підвищенні кислотності, перетворенні на пустелю та забрудненні. На швидкість деградації ґрунтового покриву впливають такі аспекти як:

1. Поточний стан земельної ділянки;
2. Першопричини та ступінь негативного впливу;
3. Відповідь ґрунту на цей вплив;
4. Наслідки цього впливу для оточуючого середовища

Погіршення стану земель призводить до зменшення здатності екосистеми виробляти ресурси, що особливо критично для галузі харчування. Отже, вирішення цієї проблеми є життєво необхідним для гарантування продовольчої безпеки у світовому масштабі [1]. В Україні питання деградації ґрунтів стоїть надзвичайно гостро, адже лише 60 - 70 % їхнього потенціалу родючості задіяно. Серед головних чинників, що цьому сприяють, виділяють нестачу вологи, необдумане господарювання на землях та коливання клімату. За розрахунками експертів, території, що зазнали деградації, займають приблизно 10 - 12 мільйонів гектарів, що складає понад чверть усіх орних площ. Военна агресія додатково загострює становище, спричиняючи руйнування верхнього шару ґрунту, його забруднення та поширення різних форм деградаційних процесів. Тому завдання рекультивації земель, особливо тими ж рослинами, набуває першочергового значення [2].

Регенерація зіпсованих ґрунтів вимагає заходів, спрямованих на підвищення їхнього стану через повернення гумусу та необхідних мінералів. Це, своєю чергою, стимулює збільшення плодючості, покращує здатність ґрунту утримувати воду та його фізичні властивості. Ключове значення у цій трансформації мають самі рослини, зокрема ті, що висаджуються як покриви, зелені добрива (сидерати) та поживні рештки. Їхнє застосування слугує для захисту ґрунтової поверхні від знесення, мінімізації випаровування вологи та насичення ґрунту органікою. Подібні стратегії є фундаментом для довготривалого відновлення територій, даючи змогу поступово повертати їм здатність до продуктивної діяльності [3]. Прийоми застосування рослинності з метою поновлення територій, що зазнали антропогенного впливу, спираються на процеси фітомеліорації та біологічного рекультивування. Ці підходи охоплюють використання рослин для поліпшення характеристик ґрунтів, приведення екосистем у стабільний стан та мінімізації негативних наслідків діяльності людини.

Ключовим етапом є засів порушених ділянок багаторічними трав'янистими рослинами, за яким слідує розвиток чагарникової та деревостану. Значну вагу має орієнтування на природні послідовності (сукцесії), що гарантує етапне відновлення рослинного покриву.

Окрім того, впроваджується відбір видів, здатних витримувати забруднення, та створення таких рослинних спільнот, які стимулюють регенерацію структури ґрунту та збільшення біорізноманіття. Як доповнення, в інженерно-біологічних цілях для закріплення територій залучають методи заліснення та залуження [4].

Для відновлення деградованих земель використовують різні групи рослин. Серед трав'янистих поширені люцерна, конюшина та інші бобові культури, які збагачують ґрунт азотом. Серед дерев і

чагарників часто застосовують вербу та тополя, які швидко ростуть і добре закріплюють ґрунт. Також існують рослини-акумулятори, здатні поглинати важкі метали та інші забруднювачі (табл. 1).

Таблиця 1

Функції та особливості застосування рослин у процесі відновлення деградованих і техногенно порушених територій

Рослина	Основна функція	Особливість застосування
Люцерна	Збагачення ґрунту азотом	Покращує родючість
Конюшина	Відновлення структури ґрунту	Використовується як сидерат
Соняшник	Поглинання важких металів	Використовується у фітореMediaції
Верба	Закріплення ґрунтів	Застосовується проти ерозії
Тополь	Швидке відновлення територій	Добре росте на забруднених землях

Наведені рослини виконують різні функції у процесі відновлення деградованих і техногенно порушених територій. Бобові культури, зокрема люцерна та конюшина, сприяють покращенню ґрунтів за рахунок фіксації азоту та відновлення їх структури. Соняшник використовується у фітореMediaційних процесах. Деревні види, такі як верба і тополя, забезпечують швидке формування рослинного покриву, закріплення ґрунтів і запобігання ерозійним процесам.

Загалом поєднання трав'янистих і деревних рослин дозволяє ефективно відновлювати екологічний стан територій, стабілізувати ґрунтовий покрив і запускати природні процеси сукцесії.

Застосування зелених насаджень з метою рекультивациі порушених теренів несе низку позитивних аспектів. Ключовими тут виступають екологічна нешкідливість, значно менші фінансові витрати порівняно з технічними способами, а також можливість поновлення природних механізмів формування ґрунтового покриву. Зелень позитивно впливає на структуру ґрунту, стимулює нагромадження гумусу, знижує рівень токсичних речовин і поступово створює самодостатні природні угруповання.

Проте, існують і мінуси, а саме: процес поновлення займає багато часу, а успішність цього заходу сильно обумовлюється кліматичними особливостями та типом ґрунту. На ділянках із глибокими деградаційними змінами дієвість цього методу падає, і виникає потреба у привести ґрунт до ладу [5].

На основі проведеного вивчення я з'ясувала, що деградація земельних ресурсів є комплексною справою, де задіяно безліч чинників, які спричиняють різні трансформації ґрунтового покриву. Першопричинами виступають ерозія, забруднюючі речовини, виснаження життєво важливих елементів та вплив людської діяльності, включаючи надмірне використання землі та техногенні навантаження. Наслідком цього є погіршення родючості ґрунтів та загальне погіршення екологічної обстановки у цих регіонах.

Аналіз показав, що успіх фітомеліорації багато в чому залежить від правильного вибору рослинних видів, а також врахування природних послідовностей змін (сукцесій) та місцевих екологічних умов. Найкращі результати досягаються тоді, коли застосовується комбінація трав'янистих, чагарникових та деревних рослин, що забезпечує поступове формування стійких екосистем та відновлення природного балансу. Водночас, було виявлено, що процес відновлення є досить тривалим і вимагає невпинного контролю, особливо на ділянках зі значним забрудненням або глибокими порушеннями, спричиненими людиною. У таких випадках варто вдатися до комплексного застосування біологічних та інженерних методів рекультивациі.

Отже, результати цього дослідження підтверджують, що використання рослин для реабілітації деградованих земель є багатообіцяючим напрямком як для екологічної теорії, так і для практичної діяльності. Це дає змогу не лише покращити стан ґрунтів, але й ревіталізувати природні екосистеми та гарантувати екологічну стійкість територій у довгостроковій перспективі.

Список використаних джерел:

1. Когут П. Деградація Ґрунтів: Причини, Наслідки та Профілактика. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/uk/blog/dehradatsiia-gruntiv/> (дата звернення: 19.04.2026).
2. В Україні посилюється деградація ґрунтів. Landlord. URL: <https://landlord.ua/news/rynok-zemli/v-ukrayini-posylyuyetsya-degradacziya-gruntiv/> (дата звернення: 19.04.2026).
3. Регенерація ґрунту. GeoPard - Програмне забезпечення для картографування точного землеробства. URL: <https://geopard.tech/uk/блог/що-таке-регенерація-ґрунту/> (дата звернення: 19.04.2026).
4. Snitynskyi V., et al. Принципи рекультивациі та фітомеліорації девастрованих ландшафтів. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*. 2023. 27. С. 13-21.
5. Наукова бібліотека Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. URL: <https://library.isgkr.com.ua/monografiy/2023/m5/m5.2023.pdf> (дата звернення: 19.04.2026).

УДК 504.06:37.013

Уварова С.Д., студентка, 3 курс, ДЕ-31
Шабалін А.Ю., магістратура, 1 курс, ЗДЕ-53
Науковий керівник: Некос А.Н., д.геогр.н., проф.,
проф. кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
Навчально-науковий інститут екології,
зеленої енергетики та сталого розвитку
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І РЕАЛІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ ДОВГОСТРОКОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЄКТІВ ДЛЯ ШКОЛЯРІВ

В умовах повоєнного відновлення України та нагальної потреби відновлення зеленої інфраструктури міст і сіл традиційна екологічна освіта вже не може обмежуватися лише теоретичними знаннями. Значний антропогенний тиск на урбанізовані території вимагає таких форм роботи, які дозволяють школярам перейти від пасивного сприйняття інформації до активної практичної діяльності, поєднаної з елементами науки та цифрових технологій. Саме для втілення таких підходів щодо екологічної освіти авторами запропоновано екологічний проєкт «Моє дерево в цифровому світі» для учнів 8-9 класів закладів загальної середньої освіти. Потреба у мінімізації негативного впливу на довкілля вимагає впровадження нових методів оцінки ризиків деградації та втрати стійкості зелених насаджень в умовах урбанізації [1]. Базовим об'єктом проєкту можна обрати територію школи та прилеглу зелену зону - пришкольний сад, сквер, парк або зелену зону громади. Такий вибір забезпечує безпосередній емоційний контакт учнів з живим об'єктом і створює умови для багаторічного системного спостереження за ним. Розвиток екологічного мислення є фундаментом цього процесу [2].

Реалізацію цього проєкту можна почати з актуальності та анонсу майбутньої діяльності, під час якого вчитель пояснює дітям екологічну роль дерев у міському середовищі - їхню здатність очищати повітря, підтримувати біорізноманіття, регулювати мікроклімат і знижувати рівень шуму. Після цього кожен учень повинен обрати собі саджанець місцевого адаптованого виду - дуб звичайний, клен гостролистий, липа дрібнолиста, горобина звичайна чи плодове дерево - і надати йому особисте ім'я. Вчитель на цьому етапі пояснює важливість вибору адаптованих видів і допомагає учням усвідомити, що вони не просто саджають рослину, а дають життя новому елементу міської екосистеми [3].

Далі учні розпочинають висадку дерев. Під безпосереднім керівництвом учителя кожен виконує повний цикл робіт. Вкопує яму потрібної глибини, акуратно розправляє кореневу систему саджанця, засипає та ущільнює ґрунт, проводить рясний полив і наносить мульчу в пристовбурному колі. Вчитель постійно демонструє правильну техніку посадки, коригує помилки в реальному часі, контролює дотримання агротехнічних вимог і правил безпеки, наголошуючи на дбайливому ставленні до живого організму. Такий супровід забезпечує практичні навички роботи з облагородження міста [4].

Після завершення посадки відразу розпочинається первинний моніторинг. Вчитель пояснює дітям, як за допомогою рулетки вимірювати висоту і охоплення стовбура, як детально описувати стан листя, кори, виявляти можливі пошкодження чи ознаки наявності шкідників, робити якісні цифрові фото з різних ракурсів і фіксувати геокоординати через Google Maps. Вчитель допомагає фіксувати дані, пояснює, на що звернути особливу увагу, і підкреслює значення цих спостережень для подальшого довгострокового моніторингу за життєздатністю та динамікою розвитку висаджених дерев у міському середовищі.

Наступний етап присвячено створенню цифрового паспорта дерева на платформі Google Sites. Вчитель пояснює дітям рекомендовану структуру сторінки, яка містить опис виду та його екологічної ролі, «біографію дерева» з датою посадки, координатами та початковими фото, як створити розділ моніторингу росту з таблицями та графіками, галерею зображень, блок особистих вражень. Вчитель також пояснює алгоритм дій у разі, якщо дерево не приживеться. Ситуацію необхідно спокійно обговорити та запросити учнів до подальших кроків. Зокрема, можна посадити нове дерево на тому ж або сусідньому місці, зберігти цифровий паспорт з відповідною позначкою. Альтернативним варіантом є взяття під особисту опіку вже зростаючого дерева на території школи. Вчитель підкреслює, що головна цінність проєкту - не лише саме дерево, а набутий досвід посадки, моніторингу стану зелених насаджень, створення цифрового контенту та почуття відповідальності, і що можлива невдача з приживлюваністю саджанця є нормальним для реального екологічного процесу. Такий підхід робить навчання доступним навіть для учнів з особливими потребами [5].

Після завершення практичної частини учні генерують QR-код, який веде на їхню цифрову сторінку, друкують його та розмішують на ламінованій бірці. Вчитель допомагає надійно закріпити її на стовбурі, не пошкоджуючи кору. На завершальному етапі вчитель організовує брифінг щодо досягнутих результатів, під час якого учні презентують свої цифрові сторінки, обговорюють труднощі, з якими зіткнулися та діляться позитивними емоційними враженнями. Це дозволяє підбити підсумки роботи та

акцентувати увагу на особистій відповідальності кожного за стан висадженого дерева. Захід завершується спільною фотосесією на фоні оновленої зеленої зони.

Окремим перспективним вектором розвитку проєкту є інтеграція зібраних даних на платформі так званої «громадської науки» (citizen science). Отримані матеріали учні вносять до своїх цифрових паспортів на платформі Google Sites, що дозволяє систематизувати інформацію про стан дерев у динаміці. Завдяки створенню QR-кодів ці дані стають доступними для широкого загалу - відвідувачі зелених зон можуть переходити на відповідні сторінки Google Sites для ідентифікації видів деревної рослинності та ознайомлення з історією кожного дерева. Це перетворює локальну ініціативу на частину наукової мережі, дозволяючи школярам відчувати себе дослідниками. Зокрема, вони використовують накопичену на Google Sites інформацію для порівняння швидкості росту різних саджанців та візуалізують результати моніторингу через таблиці й графіки.

Особливе значення матиме те, що проєкт не завершуватиметься одним днем. Учні отримають чітке розуміння, що їхня робота матиме тривале продовження - вони регулярно будуть відвідувати своє дерево, проводити подальші заміри, фіксувати зміни на фото та оновлювати цифровий паспорт на Google Sites протягом кількох років. Вчитель на завершальних етапах буде акцентувати увагу на практичному внеску кожного учня у відновлення зеленої інфраструктури населеного пункту у повоєнний період.

Впровадження запропонованого екологічного проєкту особливо актуальне в умовах повоєнного відновлення України. Поєднання висадки дерев і подальшого моніторингу з сучасними цифровими технологіями та публікацією даних на Google Sites сприяє вихованню екологічно свідомого покоління, яке не лише розуміє проблеми довкілля, а й активно бере участь у їх вирішенні. Запропонована модель екологічно спрямованої діяльності школярів відзначається високою гнучкістю та універсальністю, що дозволяє легко адаптувати її для учнів молодших класів через спрощення технічних завдань, наприклад, шляхом ведення колективного цифрового щоденника класу. Це створює підґрунтя для перетворення проєкту на сталу загальношкільну традицію, де кожна генерація учнів робить свій внесок у розбудову «живого літопису» закладу освіти. Залучення батьків до спільної роботи з учнями та педагогами допомагає об'єднати громаду навколо створення стійкої зеленої інфраструктури населеного пункту.

Запропонований екологічний проєкт забезпечує формування природничо-наукових та цифрових знань школярів. Учні отримують знання про екологічні функції дерев і принципи моніторингу висаджених саджанців, опановують навички їхньої посадки, систематичного спостереження за станом рослин, а також роботи з Google Sites і QR-кодами. Накопичена на цифрових платформах інформація стає базою для порівняння швидкості росту дерев та візуалізації результатів через таблиці й графіки. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє реалізувати принципи STEM-освіти, де екологічна проблематика стає центром для розвитку аналітичних навичок молоді. Це формує у школярів стійку звичку систематичного наукового спостереження за станом зелених насаджень і розвиває відповідальність не лише за своє дерево, а й за загальний екологічний стан території. Вчитель на завершальних етапах акцентує увагу на тому, як особисті дії кожного учня здатні посилити реальний внесок у відновлення зеленої інфраструктури населеного пункту в повоєнний період.

Список використаних джерел:

1. Петрук О. М. Антропогенне навантаження на території природно-заповідного фонду: методи оцінки і управління ризиками. Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування. Харків : Державний біотехнологічний університет, 2025. С. 245-247. URL: <https://repo.bt.uharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/e5e7906c-dba6-4b34-9159-0f0e5d4a6eb6/content>

2. Касіянова О. А. Розвиток екологічного мислення учнів у навчально-виховному процесі. Сучасна освіта та наука: проблеми, перспективи, інновації : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Київ : Нац. педагогічний університет імені М. П. Драгоманова, 2024. С. 181-183. URL: <https://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34763/Kasianova.pdf?sequence=1>

3. Люленко С. Формування екологічної компетентності учнів на уроках біології і екології. Природничі науки та природокористування. Умань : УДПУ імені Павла Тичини, 2024. Вип. 1. С. 68-74. URL: <https://pnp.udpu.edu.ua/article/view/322210>

4. Іщенко С., Обухов П. Екологічна освіта та енергозбереження: формування свідомого підходу у майбутніх поколінь. Молодь і ринок. 2024. № 10 (230). С. 82-86. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2024.314191>

5. Костіва Я. В. Формування екологічної компетентності молодших школярів з особливими потребами засобами ігрової діяльності : кваліфікаційна робота магістра : 013 Початкова освіта. наук. керівник М. М. Нетреба. Київ : Маріупольський державний університет, 2024. С. 1-84.

URL: https://repository.mu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5348/1/013_Костіва_Я.В._2024.pdf

Федькевич В.П., студентка, III курс, група 31-3,
Геодезія та землеустрій
Науковий керівник: Рудько О.М., викладач
ВСП «Рівненський фаховий коледж Національного університету
природокористування і біоресурсів України

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Сучасний стан навколишнього природного середовища характеризується значним антропогенним навантаженням, що потребує постійного контролю, аналізу та прогнозування змін. У зв'язку з цим важливу роль відіграють геоінформаційні системи (ГІС), які дозволяють ефективно здійснювати моніторинг довкілля, обробляти великі обсяги просторових даних і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Геоінформаційні системи - це сучасні інформаційні технології, що забезпечують збір, зберігання, обробку, аналіз та візуалізацію просторово-координованої інформації. Вони поєднують картографічні матеріали, бази даних, результати дистанційного зондування Землі та інші джерела інформації. Використання ГІС у моніторингу довкілля дозволяє створювати комплексні моделі природних процесів і відслідковувати зміни у реальному часі. В Україні функціонує державна система моніторингу довкілля, яка передбачає спостереження за станом атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів, лісів та інших компонентів природного середовища. Відповідно до законодавства, ця система забезпечує збір, обробку та аналіз інформації про рівень забруднення і зміни екологічного стану територій. Саме ГІС виступають ключовим інструментом інтеграції цих даних у єдину інформаційну систему [1].

Однією з основних переваг використання ГІС є можливість просторового аналізу. Наприклад, у системі моніторингу ґрунтів застосовуються мережі стаціонарних спостережних ділянок, які мають прив'язку до географічних координат. Це дозволяє досліджувати процеси трансформації речовин у ґрунтах, оцінювати їх екологічний стан та прогнозувати зміни під впливом господарської діяльності. Завдяки ГІС ці дані можна відобразити на картах, що значно спрощує їх аналіз і використання. Важливим напрямом застосування ГІС є моніторинг атмосферного повітря. Сучасні інформаційні платформи дозволяють об'єднувати дані з автоматичних станцій спостереження, супутників і сенсорних мереж [2]. Наприклад, в Україні функціонують системи відкритого доступу до екологічних даних, які надають інформацію про якість повітря та джерела забруднення в режимі онлайн. Це сприяє підвищенню екологічної свідомості населення та забезпечує прозорість екологічного контролю. Крім того, ГІС широко використовуються для моніторингу водних ресурсів. Вони дозволяють аналізувати якість поверхневих і підземних вод, визначати джерела забруднення, моделювати поширення шкідливих речовин і оцінювати ризики для екосистем [3]. Наукові дослідження підтверджують, що створення спеціалізованих ГІС-систем дає можливість комплексно оцінювати стан довкілля на регіональному рівні та приймати ефективні природоохоронні рішення. Ще одним важливим аспектом є використання ГІС для прогнозування екологічних змін. Завдяки аналізу багаторічних даних можна визначити тенденції деградації ґрунтів, змін клімату, поширення забруднення та інших процесів. Це дозволяє своєчасно реагувати на екологічні загрози та розробляти заходи щодо їх попередження. Не менш важливою є роль ГІС у підтримці управлінських рішень. Органи державної влади використовують геоінформаційні системи для планування природоохоронних заходів, оцінки екологічних ризиків і контролю за діяльністю підприємств. Інтеграція просторових даних у єдину систему забезпечує більш ефективне управління природними ресурсами та сприяє сталому розвитку територій [1].

Отже, геоінформаційні системи є невід'ємною складовою сучасного екологічного моніторингу. Вони забезпечують комплексний підхід до аналізу стану довкілля, дозволяють оперативно отримувати актуальну інформацію та приймати обґрунтовані рішення. Подальший розвиток ГІС-технологій сприятиме підвищенню ефективності природоохоронної діяльності та збереженню екологічної рівноваги.

Список використаних джерел:

1. Цюман Є. С., Глухонець, А. О. Екологічна інформатика в системі регіонального управління природними ресурсами. *Актуальні питання економічних наук*. 2025. № 8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14961588>
2. Голован Ю., Курило А. Інформаційні технології комплексного моніторингу довкілля на основі даних аерокосмічних і наземних досліджень. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2022. №1(17). С. 187-197. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.17.187197>
3. Гребенюк Т., Артёмов Р., Ремез Н., Броницький В. Використання геоінформаційних систем для моніторингу стану підземних вод. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 4. С. 170-175. DOI 10.20535/1813-5420.4.2024.315602

УДК 504.06:628.4.032:615.1

Фініцький О.С., здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища», Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц. кафедри екології та природоохоронних технологій Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ПОВОДЖЕННЯ З БІОЛОГІЧНИМИ ТА ТОКСИЧНИМИ ВІДХОДАМИ НА ПРИКЛАДІ ТОВ "ДКП "ФАРМАЦЕВТИЧНА ФАБРИКА"

Актуальність дослідження. Стрімкий розвиток фармацевтичної галузі в усьому світі супроводжується пропорційним зростанням обсягів специфічних відходів, серед яких найбільшу загрозу для довкілля становлять біологічні та токсичні залишки. Сучасні фармацевтичні підприємства генерують широкий спектр небезпечних речовин, включаючи протерміновані медикаменти, залишки активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ), хімічні реактиви, а також біологічні матеріали, що використовуються у процесах тестування та контролю якості. Потрапляння цих компонентів у ґрунти та гідросферу без належного очищення призводить до незворотних мутагенних, канцерогенних та токсичних ефектів у екосистемах, а також сприяє формуванню антибіотикорезистентних штамів мікроорганізмів, що становить глобальну загрозу для біологічної безпеки та здоров'я населення. В умовах євроінтеграційних процесів України питання модернізації систем екологічного менеджменту на промислових підприємствах набуває критичного значення. Національне законодавство у сфері поводження з відходами поступово адаптується до жорстких директив Європейського Союзу, що вимагає від фармацевтичних компаній переходу від застарілих методів утилізації до концепції циркулярної економіки та мінімізації відходів у джерелі їх утворення. Дослідження екологічного впливу процесів поводження з відходами на прикладі конкретного підприємства - ТОВ «ДКП «Фармацевтична фабрика» - дозволяє перевести теоретичні вишукування у площину практичного застосування. Аналіз локальних виробничих циклів, морфологічного складу відходів та діючих логістичних ланцюгів їх утилізації дає змогу виявити «вузькі місця» в системі екологічної безпеки фабрики. Такий підхід не лише сприяє розробці персоналізованих, економічно обґрунтованих рекомендацій для даного підприємства, але й може слугувати типовою моделлю для екологічного аудиту аналогічних виробництв фармацевтичного сектору України, спрямованою на зниження антропогенного навантаження на регіональні екосистеми.

Аналіз літературних джерел. Проблематика екологічної безпеки фармацевтичних виробництв широко висвітлюється у працях вітчизняних та зарубіжних науковців. Дослідженню методів утилізації медичних та біологічних відходів присвячені роботи О.М. Іванової та В.П. Коваленка, які наголошують на необхідності термічного знешкодження біологічних агентів із застосуванням багатоступеневої системи фільтрації викидів [1]. Водночас, С.В. Петренко у своїх дослідженнях акцентує увагу на поведінці активних фармацевтичних інгредієнтів у стічних водах, доводячи, що стандартні очисні споруди не здатні повністю нейтралізувати токсичний вплив синтетичних гормонів та антибіотиків [2]. Зарубіжні автори, зокрема Дж. Сміт (J. Smith) та А. Мюллер (A. Müller), розглядають концепцію "Зеленої фармації" (Green Pharmacy), яка передбачає впровадження принципів еко-дизайну ще на етапі розробки лікарських засобів для мінімізації утворення токсичних побічних продуктів [3]. Оцінка екологічних ризиків за методологією життєвого циклу (LCA) розкрита в публікаціях О.І. Мельник, що дозволяє комплексно підійти до проблеми поводження з небезпечними відходами на підприємствах хіміко-фармацевтичного профілю [4]. Незважаючи на ґрунтовну теоретичну базу, питання практичної адаптації систем поводження з токсичними та біологічними відходами на діючих українських фабриках потребує додаткових додаткових прикладних досліджень.

ТОВ «ДКП «Фармацевтична фабрика» є типовим представником галузі, виробничий профіль якого включає виготовлення рідких, м'яких та твердих лікарських форм, галенових препаратів та дієтичних добавок. Специфіка технологічних процесів фабрики зумовлює утворення широкого спектра відходів, які вимагають диференційованого підходу до збирання, зберігання та утилізації. Виробничий цикл супроводжується генерацією не лише безпечних побутових та пакувальних матеріалів, але й специфічних фармацевтичних залишків, що містять токсичні речовини, розчинники, екстрагенти, а також біологічні матеріали з лабораторій відділу контролю якості (ВКЯ). Уся сукупність відходів підприємства суворо класифікується за класами небезпеки (табл. 1.) відповідно до чинного законодавства та санітарно-епідеміологічних норм.

Найбільшу загрозу становлять відходи класу небезпеки В (епідеміологічно небезпечні, біологічні) та класу С (токсикологічно небезпечні, фармацевтичні та хімічні). Первинний етап поводження з біологічними та токсичними відходами на фабриці полягає у їх суворому роздільному зборі безпосередньо у місцях утворення.

Для цього використовуються герметичні контейнери та пакети відповідного кольорового маркування: червоні для біологічно небезпечних та жовті для токсичних відходів. Важливим екологічним аспектом на цьому етапі є недопущення змішування різних типів хімічних речовин, що може призвести до неконтрольованих реакцій з виділенням токсичних газів або самозайманням. Тимчасове зберігання небезпечних відходів здійснюється у спеціально обладнаному приміщенні з обмеженим доступом, яке оснащено системами примусової вентиляції, уловлювачами парів та піддонами для збору можливих витоків. Відповідно до екологічних стандартів, термін зберігання біологічних відходів без попереднього знезараження не перевищує 24 годин. Для передачі відходів на кінцеву утилізацію фабрика укладає договори зі спеціалізованими ліцензованими підприємствами-підрядниками.

Таблиця 1

Усереднений морфологічний склад специфічних відходів ТОВ "ДКП "Фармацевтична фабрика"
(за 2025 рік)

Категорія відходів	Джерело утворення	Клас небезпеки	Частка небезпечних відходів (%)	Метод знешкодження (поточний)
Фармацевтичний брак та залишки АФІ	Виробничі цехи	Клас С (Токсичні)	45%	Високотемпературне спалювання
Хімічні реактиви та розчинники	Фізико-хімічна лабораторія	Клас С / D	30%	Хімічна нейтралізація / регенерація
Біологічні відходи (культури, середовища)	Мікробіологічна лабораторія	Клас В (Біологічні)	15%	Автоклавування + спалювання
Забруднена тара та пакування	Склади, виробництво	Клас С	10%	Механічне подрібнення + спалювання

На ТОВ "ДКП "Фармацевтична фабрика" цей ризик нівелюється шляхом обов'язкового первинного знезараження (автоклавування під високим тиском та температурою) усіх відпрацьованих мікробіологічних культур перед їх передачею на утилізацію. Автоклавування руйнує клітинні структури мікроорганізмів та спори, перетворюючи відходи класу В на безпечне сміття, яке не становить загрози для епідеміологічного благополуччя регіону. Основним методом кінцевого знешкодження токсичних фармацевтичних відходів, зібраних на фабриці, залишається високотемпературне спалювання (інсинерація), яке виконують підрядники. Хоча цей метод дозволяє повністю знищити складні органічні молекули АФІ при температурах понад 1000-1200 °С, він має суттєвий екологічний недолік: ризик утворення вторинних токсичних сполук - діоксинів, фуранів та оксидів азоту. Тому екологічний менеджмент підприємства зобов'язаний проводити суворий аудит підрядних організацій, вимагаючи підтвердження наявності у них сучасних багатоступневих систем очищення відхідних газів (скрубєрів, рукавних фільтрів, систем каталітичного відновлення).

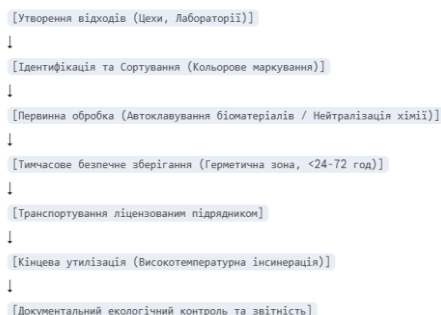


Рис. 1. Типовий життєвий цикл управління небезпечними відходами на підприємстві

Для подальшої модернізації системи екологічної безпеки ТОВ "ДКП "Фармацевтична фабрика" необхідно розглянути можливість впровадження локальних установок попереднього очищення промивних вод методами розширеного окислення (AOPs), наприклад, озонуванням або УФ-опроміненням у присутності пероксиду водню. Це дозволить руйнувати залишки АФІ безпосередньо на території підприємства перед скиданням стоків у міську мережу.

Висновок. Аналіз екологічного впливу процесів поводження з біологічними та токсичними відходами на прикладі ТОВ "ДКП "Фармацевтична фабрика" свідчить про те, що підприємство має базову, законодавчо врегульовану систему екологічного менеджменту. Існуючі процедури сортування, первинного знезараження біологічних агентів та співпраця з ліцензованими підрядниками дозволяють мінімізувати прямі ризики гострого забруднення довкілля. Для забезпечення довгострокової екологічної стійкості та повної відповідності європейським стандартам, фабриці необхідна поступова модернізація: впровадження технологій розширеного окислення для очищення стічних вод, жорсткіший аудит технологій спалювання у підрядників та глибша інтеграція принципів "Зеленої фармації" для скорочення обсягів генерації токсичних відходів безпосередньо у виробничих цехах.

Список використаних джерел:

1. Іванова О.М., Коваленко В.П. Екологічна безпека поводження з медичними та біологічними відходами в Україні // Екологія та промисловість, 2021. № 3. С. 45-52.
2. Петренко С.В., Бойко О.В. Проблема контамінації стічних вод активними фармацевтичними інгредієнтами: наслідки для гідросфери // Вісник екології та охорони довкілля, 2020. Т. 12, № 2. С. 112-119.
3. Smith, J., Müller, A. Green Pharmacy and Sustainable Waste Management in the Pharmaceutical Industry. Journal of Environmental Management, 2022. Vol. 305. P. 114-128.
4. Мельник О.І. Оцінка життєвого циклу небезпечних відходів хіміко-фармацевтичних підприємств // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України, 2019. Т. 29, № 4. С. 89-94.
5. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX. Офіційний вісник України. 2022. (зі змінами та доповненнями).

УДК 504.45:574.5(477.4)

**Фініцький О.С., здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища»,
Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ У МІНІМІЗАЦІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ.

Водні екосистеми українського Полісся відіграють ключову роль у підтримці екологічної рівноваги та збереженні біорізноманіття не лише на регіональному, а й на загальнонаціональному рівні. Цей регіон характеризується густою гідрографічною мережею, значною кількістю озер, боліт та малих річок, які формують унікальний гідрологічний режим. Вони виступають природними фільтрами, регуляторами мікроклімату та середовищем існування для багатьох рідкісних видів флори і фауни, занесених до Червоної книги України. Проте, протягом останніх десятиліть спостерігається значне посилення антропогенного тиску на гідрологічні об'єкти регіону. Інтенсивне ведення сільського господарства, застосування агрохімікатів, масштабна вирубка лісів та наслідки застарілих меліоративних систем призводять до деградації водозбірних басейнів. Це спричиняє замулення русел, евтрофікацію водойм та погіршення якості поверхневих вод, що ставить під загрозу стійкість поліських екосистем.

Додатковим і вкрай небезпечним фактором стали глобальні кліматичні зміни, які безпосередньо впливають на водний баланс Полісся. Підвищення середньорічних температур у поєднанні зі зменшенням кількості опадів у літній період призводить до катастрофічного обміління малих річок, пересихання водно-болотних угідь та зниження рівня ґрунтових вод. Зміна температурного режиму води також провокує перебудову гідробіоценозів та сприяє розвитку інвазійних видів. В умовах сьогодення, враховуючи також опосередковані та прямі наслідки військових дій в Україні (зокрема, руйнування інфраструктури, лісові пожежі та забруднення територій), своєчасний екологічний моніторинг набуває критичного значення. Об'єктивна оцінка сучасного стану водних екосистем є необхідною передумовою для розробки ефективних стратегій адаптації до кліматичних змін, відновлення деградованих територій та впровадження принципів інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Аналіз літературних джерел. Проблема екологічного стану водних ресурсів українського Полісся постійно перебуває у фокусі уваги науковців, проте останніми роками вона набула нових акцентів. У дослідженнях О. Ковальчука та співавторів (2023) ґрунтовно проаналізовано вплив кліматичних флуктуацій на зниження рівня води в озерах Шацького національного природного парку. В. Мельник (2024) у своїх працях акцентує увагу на проблемах хімічного забруднення малих річок Житомирського та Рівненського Полісся внаслідок розорювання водоохоронних зон. Сучасні підходи до використання методів біоіндикації для оцінки якості води в умовах антропогенного стресу детально розглядаються у публікаціях Т. Іванової (2025). Водночас, В. Романенко (2025) наголошує на необхідності перегляду класичних гідробіологічних індексів з урахуванням появи нових токсикантів. Незважаючи на значний масив даних, комплексні дослідження, що поєднують гідрохімічні та гідробіологічні показники для інтегральної оцінки екосистем Полісся в умовах сучасної багатофакторної кризи, залишаються недостатніми і потребують подальшого вивчення.

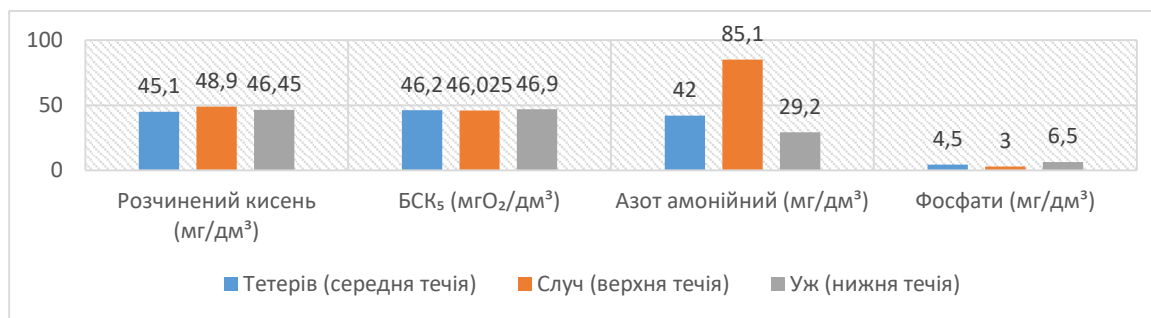
Основний матеріал. Українське Полісся є регіоном зі специфічними фізико-географічними умовами, де формується значна частина водного стоку країни. Басейни річок Прип'ять, Десна, Случ та Тетерів формують гідрологічний каркас території. Особливістю цих водних артерій є рівнинний характер течії, висока заболоченість водозборів та природно підвищений вміст органічних речовин гумусового походження, що зумовлює специфічний колір води та її природну кислувату реакцію. Для комплексної екологічної оцінки водних екосистем було застосовано інтегрований підхід, який включає аналіз гідрохімічних показників (вміст біогенних елементів, розчиненого кисню, важких металів) та біотичних індексів (стан фітопланктону, зоопланктону та макрзообентосу). Дослідження проводилися на репрезентативних ділянках річок верхньої та середньої течії басейну Прип'яті.

Результати гідрохімічного аналізу зафіксували стійку тенденцію до погіршення якості води за показниками тропності (табл.1. та рис.1.). Вміст азоту амонійного та фосфатів у літній межений період на більшості досліджуваних створів перевищував гранично допустимі концентрації (ГДК) для водойм рибогосподарського призначення. Це свідчить про інтенсивне надходження забруднювачів із сільськогосподарських угідь та недостатню очистку стічних вод комунальними підприємствами невеликих населених пунктів.

Особливе занепокоєння викликає кисневий режим водойм. Через аномально високі температури у липні-серпні та низьку швидкість течії, рівень розчиненого кисню у багатьох малих річках та озерах падав нижче критичної позначки (4 мг/дм³). У поєднанні з високою концентрацією органіки це провокувало локальні явища заморів риби та інтенсивне виділення сірководню у придонних шарах.

Результати гідрохімічного аналізу			
Показник / Річка	Тетерів (середня течія)	Случ (верхня течія)	Уж (нижня течія)
Розчинений кисень (мг/дм ³)	4.2	5.8	3.5
БСК ₅ (мгО ₂ /дм ³)	4.8	3.1	6.2
Азот амонійний (мг/дм ³)	1.15	0.85	1.80
Фосфати (мг/дм ³)	4,5	3,0	6,5

Також можна зобразити у вигляді діаграми (рис. 1).



Важливим індикатором стану екосистем є гідробіологічні показники. Аналіз видового складу фітопланктону показав домінування синьо-зелених водоростей (Cyanobacteria) у період літньої стагнації. Їх масовий розвиток («цвітіння» води) не лише погіршує органолептичні властивості води, але й призводить до виділення ціанотоксинів, що становить загрозу для біоти та здоров'я місцевого населення.

Зміни в структурі макрофітів свідчать про прискорені процеси заболочення та заростання русел. Зменшення водності сприяє поширенню повітряно-водної рослинності (очерет, рогоз) від берегів до центру русла, що ще більше уповільнює течію та посилює акумуляцію донних відкладів. Природна здатність річок до самоочищення в таких умовах катастрофічно знижується. Іхтіофауна досліджуваних водойм також зазнає суттєвих трансформацій. Спостерігається скорочення популяцій реофільних видів риб (які потребують чистої води та швидкої течії) і заміна їх лімнофільними, більш стійкими до дефіциту кисню видами (карась сріблястий, ротан-головешка). Поява інвазійних видів додатково посилює конкуренцію за кормову базу та місця нересту. Фізичні зміни екосистем, спричинені наявністю численних дрібних дамб та залишків меліоративних каналів, фрагментують річкові системи. Це порушує природні міграційні шляхи гідробіонтів та призводить до деградації заплавної луки, які історично виконували функцію нерестовищ під час весняних паводків (які нині майже відсутні через зміну клімату).

Загальна інтегральна оцінка екологічного стану дозволяє класифікувати більшість малих і середніх річок досліджуваного регіону як «помірно забруднені» та «забруднені» (III-IV класи якості). Лише окремі ділянки річок у межах природно-заповідного фонду зберігають статус «чистих» вод, що підкреслює критичну необхідність розширення природоохоронних територій на Поліссі.

Висновок. Екологічна оцінка водних екосистем українського Полісся засвідчує їх прогресуючу деградацію під дією синергетичного ефекту кліматичних змін та інтенсивного антропогенного навантаження. Зниження водності, евтрофікація, погіршення кисневого режиму та трансформація біоценозів вимагають негайного втручання. Для збереження цих унікальних природних комплексів необхідно впроваджувати заходи з ренатуралізації річок, відновлення водно-болотних угідь, суворого контролю за дотриманням водоохоронних зон та модернізації систем очищення стічних вод. Тільки перехід до басейнового управління з урахуванням сучасних екологічних викликів дозволить забезпечити сталий розвиток водних ресурсів регіону.

Список використаних джерел:

1. Ковальчук, О. М., & Ткаченко, В. В. (2023). Вплив кліматичних змін на гідрологічний режим озерних систем Шацького поозер'я. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 4(68), 45-56.
2. Мельник, В. І., Бойко, Т. Р., & Сидорчук, О. П. (2024). Антропогенна трансформація водозборів малих річок Житомирського Полісся: наслідки для якості води. Вісник екології та природокористування, 12(2), 112-124.
3. Іванова, Т. В. (2025). Біоіндикація екологічного стану поверхневих вод басейну річки Прип'ять за показниками макрозообентосу. Український гідробіологічний журнал, 19(1), 78-89.
4. Романенко, В. Д., & Зайцев, О. М. (2025). Сучасні виклики у моніторингу водних екосистем: токсикологічний аспект. Екологія довкілля, 3(15), 22-34.

УДК 504.3.054:622.341.1:620.9

Хоменко С.В., здобувачка вищої освіти наукового ступеня «доктор філософії» спеціальності 101 «Екологія»,

Кірейцева Г.В., д.т.н., доц., проф. кафедри екології та природоохоронних технологій

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВПРОВАДЖЕННЯ НАЙКРАЩИХ ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ

Українська залізорудна промисловість посідає 7-8 місце у світі за обсягами виробництва окатишів і формує близько 7,2% ВВП держави. Водночас галузь зазнає значного регуляторного тиску з боку ЄС: механізм вуглецевого коригування на кордоні (СВАМ) вимагає радикального зниження вуглецеємності продукції, що експортується на європейські ринки. За оцінками вітчизняних дослідників, щорічні фінансові втрати через високу вуглецеємність ВВП можуть сягати 2-4 млрд євро. Відсутність науково обґрунтованої методики вибору найкращих доступних технологій та методів (НДТМ) для окатувальних фабрик українських ГЗК визначає актуальність даного дослідження.

Дослідження виконано у чотири послідовні етапи: аналіз технологічного ланцюга та ідентифікація джерел викидів згідно з IPCC Guidelines (2006) та EU BAT Reference Document (2012); компаративний аналіз практик провідних світових виробників (LKAB, Vale, Cleveland-Cliffs); багатокритеріальна оцінка технічної здійсненності НДТМ за показниками екологічної ефективності та рівня технологічної готовності; моделювання граничної кривої вартості скорочення викидів (МАСС) у середовищі Plotly.

Аналіз матеріальних потоків виробництва окатишів встановив, що понад 65% викидів ПГ є енергетичними (спалювання природного газу в обортових печах при 1200 - 1350°C), близько 25% - технологічними (декарбонізація вапняку за реакцією $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ з утворенням ~14 400 т CO_2 /рік). Питомий вуглецевий слід природного газу становить 100 - 180 кг CO_2 /т окатишів, вапняку 40 - 70 кг CO_2 /т.

На основі систематизації світового досвіду та положень BREF відібрано вісім пріоритетних НДТМ (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика пріоритетних НДТМ для зниження викидів ПГ при виробництві залізорудних окатишів

№	Найкраща доступна технологія / метод	Цільові викиди	Потенціал зниження
1	Регенеративні/рекуперативні пальникові системи	Енергетичні від спалювання газу	20 - 30% витрат палива
2	Комплексна рекуперация тепла відхідних газів (теплообмінники + котли-утилізатори)	Енергетичні від спалювання газу	15 - 25% витрат палива
3	Системи прогнозного автоматизованого управління процесом (MPC)	Енергетичні (оптимізація)	8 - 15% витрат палива
4	Система енергоменеджменту ISO 50001 з пообладнанковим обліком	Енергетичні (системна оптимізація)	20 - 30% непродуктивних витрат
5	Часткове заміщення природного газу біомасою (5-10% теплового балансу)	Енергетичні від спалювання газу	Заміщення 5 - 10% газу
6	Оптимізація складу шихти зі зниженням витрат вапняку	Технологічні (декарбонізація CaCO_3)	30 - 40% викидів від вапняку
7	Валкові преси високого тиску (HPGR) для подрібнення сировини	Непрямі (Score 2, електроенергія)	30 - 40% електроспоживання млинів
8	Водневе co-firing / повний перехід на H_2 (довгострокова перспектива)	Енергетичні + Технологічні	До 100% прямих викидів

Для умов українських ГЗК найбільш адаптивними визнано: регенеративні/рекуперативні палинкові системи (зниження витрат газу на 20 - 30%), комплексну рекуперацію тепла відхідних газів (15 - 25%), системи прогнозного управління MPC (8 - 15%), систему енергоменеджменту ISO 50001 (20 - 30% непродуктивних витрат), часткове заміщення газу біомасою (5 - 10% теплового балансу), оптимізацію складу шихти зі зниженням вмісту вапняку (30 - 40% технологічних викидів), а також валкові преси високого тиску HPGR (30-40% електроспоживання дробильних вузлів).

Для визначення економічної доцільності та черговості впровадження обраних технологій було побудовано граничну криву вартості скорочення викидів (Marginal Abatement Cost Curve - МАСС), представлену на рис. 1. Параметри питомого потенціалу скорочення для кожного заходу верифіковано відповідно до діапазонів, наведених у Розділі 9 Висновків НДТМ для виробництва чавуну та сталі.

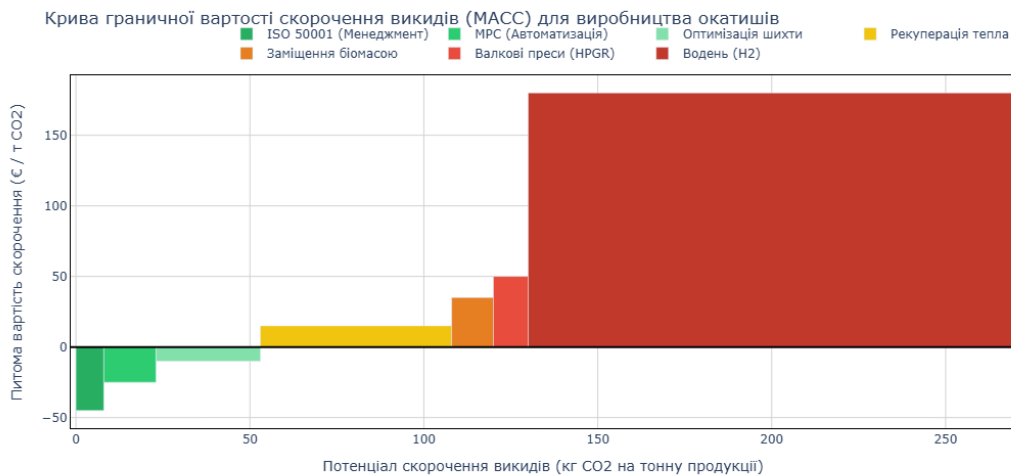


Рис. 1. Гранична крива вартості скорочення викидів (МАСС) для процесу виробництва залізородних окатишів

Джерело: розраховано автором та змодельовано в середовищі Plotly

Побудована МАСС-крива виявила «зону самоокупності», де впровадження ISO 50001, MPC та оптимізація шихти забезпечують одночасне зниження викидів і підвищення економічної ефективності (від'ємна питома вартість декарбонізації). Перехід до водневих технологій економічно доцільний лише при ціні вуглецевих квот понад 150 €/т CO₂.

Запропоновано чотири етапи декарбонізації:

- ✓ Етап 1 (2024-2027 рр.) «швидкі перемоги» - ISO 50001, MPC, оптимізація шихти, теплоізоляція;
- ✓ Етап 2 (2027 - 2029 рр.) модернізація - регенеративні палинки, рекуперація тепла, біомаса;
- ✓ Етап 3 (2029-2034 рр.) - технологічна трансформація;
- ✓ Етап 4 (2035-2050 рр.) - повна декарбонізація з використанням водню H₂ та CCS-технологій.

1. Встановлено, що домінуючими джерелами викидів при виробництві залізородних окатишів є спалювання природного газу (>65%) та декарбонізація вапняку (~25%), що визначає пріоритетність заходів з енергоефективності та модифікації шихти.

2. Вперше для умов українських ГЗК розроблено комплексну методику відбору НДТМ на основі аналізу матеріальних потоків, МАСС-моделювання та критеріїв адаптаційної придатності, що дозволяє знизити вуглецевий слід на 15-25% у короткостроковій перспективі без зміни базової технологічної схеми.

3. Розроблена поетапна дорожня карта до 2050 р. забезпечує узгодженість з вимогами СВМ та шлях до вуглецевої нейтральності (Net Zero) через поступову інтеграцію водневих технологій і CCS.

Список використаних джерел:

1. Kapelista I., Kireitseva H., Tsyhanenko-Dziubenko I., Khomenko S., Vovk V. Review of Innovative Approaches for Sustainable Use of Ukraine's Natural Resources. Grassroots Journal of Natural Resources. 2024. Vol. 7, No. 3. P. 378-395.

2. Кірейцева Г.В., Хоменко С.В. Вуглецевий слід виробництва залізородних окатишів та шляхи його зменшення. Вісник Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук: КрНУ. Випуск 6/2025 (155). С. 89-97. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.6.12>

3. Kireitseva H.V., Khomenko S.V., Pali O.V., Kravchuk-Obodzinska T.V., Suprunova I.V. Monitoring of greenhouse gas emissions at mining and processing plants in Ukraine under European integration conditions. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2025. Вип. 33. С. 121-136. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-09>

УДК 664:504.3.054:614.7

**Черепаніна Н.В., студентка IV курсу, групи ЕО-42,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD, ст. викладач кафедри
екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ ТА ЗАХОДИ З ЙОГО ПОКРАЩЕННЯ

Сучасний розвиток харчової промисловості є однією з ключових складових економіки України, оскільки дана галузь забезпечує населення продуктами харчування, формує значну частку внутрішнього валового продукту та сприяє розвитку суміжних секторів. Водночас інтенсивне функціонування підприємств харчової галузі супроводжується суттєвим антропогенним навантаженням на довкілля, зокрема на атмосферне повітря. У процесі виробництва, транспортування та зберігання продукції відбувається утворення та викид різноманітних забруднюючих речовин, що негативно впливають на екологічний стан територій і здоров'я населення. Особливо це стосується регіонів із високою концентрацією промислових підприємств, де формується значний рівень техногенного навантаження [1].

Підприємства харчової промисловості, такі як м'ясопереробні, молочні, цукрові, спиртові, хлібопекарські та інші виробництва, характеризуються різноманітністю технологічних процесів, кожен з яких може бути джерелом викидів забруднюючих речовин. Викиди можуть мати як постійний, так і періодичний характер, залежно від технологічного циклу, обсягів виробництва та використовуваного обладнання. В умовах недостатньої модернізації виробництва або недотримання екологічних стандартів рівень забруднення атмосферного повітря суттєво зростає, що зумовлює необхідність системного підходу до його оцінки та контролю.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря на підприємствах харчової промисловості є технологічні процеси переробки сировини, спалювання палива в енергетичних установках, робота сушильних агрегатів, а також процеси ферментації, бродіння та зберігання продукції [2,3]. Наприклад, у цукровому виробництві значну роль відіграють процеси випарювання та сушіння, що супроводжуються викидами пилу та газоподібних речовин. У м'ясопереробній галузі джерелами забруднення є копильні установки, холодильні системи та процеси утилізації відходів. У спиртовій промисловості викиди пов'язані з процесами бродіння та дистиляції, які супроводжуються виділенням летких органічних сполук.

До основних забруднюючих речовин, що надходять у атмосферне повітря від підприємств харчової промисловості, належать оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO_2), оксид вуглецю (CO), тверді частинки (пил), леткі органічні сполуки (ЛОС), аміак (NH_3), а також різноманітні специфічні запахові компоненти [1]. Оксиди азоту утворюються переважно в процесі спалювання палива в котельнях і теплогенеруючих установках, а також під час високотемпературних технологічних процесів. Вони беруть участь у формуванні фотохімічного смогу та кислотних дощів. Діоксид сірки, який утворюється при використанні сірковмісного палива, негативно впливає на органи дихання людини та сприяє закисленню атмосферних опадів. Оксид вуглецю є продуктом неповного згоряння палива і характеризується високою токсичністю, оскільки здатний зв'язуватися з гемоглобіном крові, знижуючи транспорт кисню в організмі [2].

Тверді частинки (пил) утворюються в процесах сушіння, подрібнення, транспортування сировини та готової продукції, особливо на борошномельних, цукрових та комбікормових підприємствах. Вони можуть містити органічні та неорганічні компоненти і здатні проникати в дихальні шляхи людини, викликаючи захворювання органів дихання. Леткі органічні сполуки є характерними для процесів бродіння, копчення, переробки жирів і зберігання продукції. До них належать альдегіди, кетони, спирти та інші органічні речовини, які можуть брати участь у фотохімічних реакціях в атмосфері з утворенням вторинних забруднювачів, таких як озон тропосферного рівня. Аміак утворюється переважно при розкладанні органічних відходів і використанні білковмісної сировини, а також у холодильних установках, і може спричиняти подразнення слизових оболонок та негативно впливати на екосистеми.

Особливістю харчової промисловості є значна частка органічних викидів, які мають складний хімічний склад і здатні трансформуватися в атмосфері під дією сонячного випромінювання та інших факторів. У результаті таких процесів утворюються вторинні забруднювачі, що можуть бути більш токсичними, ніж первинні речовини. Окрему проблему становлять запахові забруднення, які формуються внаслідок виділення сірковмісних сполук, амінів, жирних кислот та інших летких речовин [3]. Навіть за концентрацій, що не перевищують гігієнічні нормативи, ці сполуки можуть викликати відчутний дискомфорт у населення, знижувати якість життя та спричиняти соціальну напругу, особливо у районах, розташованих поблизу підприємств харчової промисловості.

Вплив викидів підприємств харчової промисловості на здоров'я населення є багатограним, комплексним і потребує особливої уваги з боку як науковців, так і органів державного контролю.

Забруднюючі речовини, що надходять у повітря, можуть проникати в організм людини переважно через дихальні шляхи, а також опосередковано - через воду та харчові продукти. Тривалий вплив навіть відносно низьких концентрацій шкідливих речовин може призводити до накопичувального ефекту, що з часом спричиняє розвиток хронічних захворювань. Особливо небезпечними є дрібнодисперсні тверді частинки та леткі органічні сполуки, які здатні проникати глибоко в легені та потрапляти в кровоносну систему [4].

Забруднення атмосферного повітря безпосередньо пов'язане з підвищенням рівня захворюваності на хвороби органів дихання, такі як бронхіт, астма, хронічні обструктивні захворювання легень. Крім того, токсичні компоненти викидів можуть негативно впливати на серцево-судинну систему, сприяючи розвитку гіпертонії, ішемічної хвороби серця та інших патологій. Алергічні реакції також є поширеним наслідком впливу забрудненого повітря, особливо у випадку наявності органічних аерозолів і запахових речовин. Деякі забруднювачі мають канцерогенні властивості, що підвищує ризик розвитку онкологічних захворювань при тривалому впливі.

Окрім впливу на здоров'я людини, забруднення атмосферного повітря негативно позначається на стані довкілля. Викиди можуть осідати на поверхні ґрунтів і рослин, змінюючи їх хімічний склад і знижуючи родючість. Кислотні дощі, що утворюються внаслідок викидів оксидів сірки та азоту, сприяють деградації ґрунтів, вимиванню поживних речовин та пригніченню росту рослин. Порушення екосистемних процесів проявляється у зміні видового складу рослинності, зменшенні біорізноманіття та погіршенні функціонування природних екосистем. У довгостроковій перспективі це може призвести до значних екологічних та економічних втрат.

Перспективним напрямом розвитку є впровадження замкнених технологічних циклів, які передбачають повторне використання ресурсів і мінімізацію відходів. Утилізація побічних продуктів виробництва та їх використання як вторинної сировини сприяє зменшенню екологічного навантаження та підвищенню економічної ефективності підприємств. Важливу роль також відіграє впровадження систем екологічного менеджменту, що базуються на міжнародних стандартах і сприяють систематичному контролю за впливом на довкілля.

Не менш важливим є удосконалення нормативно-правової бази та посилення державного контролю за дотриманням екологічних стандартів. Встановлення чітких вимог до викидів, регулярний моніторинг та застосування санкцій за їх порушення сприяють підвищенню екологічної відповідальності підприємств. Водночас важливо забезпечити ефективну взаємодію між державними органами, бізнесом і громадськістю, що дозволяє враховувати інтереси всіх сторін і сприяє сталому розвитку.

Таким чином, екологічна оцінка впливу підприємств харчової промисловості на атмосферне повітря є необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку. Комплексний підхід до аналізу джерел забруднення, впровадження сучасних технологій та вдосконалення системи управління дозволяють суттєво знизити рівень викидів, покращити якість атмосферного повітря та зменшити ризики для здоров'я населення. У перспективі це сприятиме формуванню екологічно відповідального виробництва та підвищенню якості життя в Україні.

Список використаних джерел:

1. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А., Романчук Л.М. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря Бердичівського району Житомирської області на основі статистичних даних. *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2024. Випуск 2(53). С. 50-54. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.7>
2. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А., Шацило Є.Г, Романчук Л.М. Екологічна оцінка питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст сульфатів, хлоридів та нітратів. *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2024. Випуск 2(53). С. 165-170. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.22>
3. Kireitseva H.V., Khomenko S.V., Paliy O.V., Kravchuk-Obodzinska T.V., Suprunova I.V. Monitoring of greenhouse gas emissions at mining and processing plants in Ukraine under European integration conditions. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 33. С. 121-136. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-09>
4. Романчук Л.Д., Голуб В.О., Кравчук-Ободзінська Т.В. Біотехнологічні підходи до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах кліматичних змін (на прикладі злакових культур). *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2025. Випуск 5(62). Том 2. С. 179-183. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.29>

Чиркін Р.В., студент 4 курсу, група ЗНЗ-22, ФГСПБ
Герасимчук О.Л., к.пед.н., доц. кафедри сталої інфраструктури та гідроекології
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОСТОРОВО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Земельні ресурси є одним із найважливіших компонентів природно-ресурсного потенціалу території та відіграють визначальну роль у забезпеченні продовольчої безпеки, стабільності природних екосистем і соціально-економічного розвитку регіонів. Сучасний стан земельних ресурсів України характеризується посиленням деградаційних процесів, зокрема розвитком водної та вітрової ерозії, зниженням вмісту гумусу, ущільненням ґрунтів, забрудненням токсичними речовинами та порушенням структури землекористування. Особливої актуальності ці проблеми набувають у регіонах із високим рівнем господарського освоєння території, до яких належить Житомирська область.

Для території області характерне значне антропогенне навантаження, пов'язане із сільськогосподарським використанням земель, лісгосподарською діяльністю, розвитком видобувної промисловості та урбанізаційними процесами. У результаті відбувається порушення екологічної рівноваги природних ландшафтів, що негативно впливає на якісний стан земельних ресурсів та ефективність їх використання. За таких умов важливого значення набуває проведення комплексної оцінки стану земель із використанням сучасних методів просторового аналізу та інтегрування різнорідної екологічної інформації.

Одним із найбільш ефективних підходів до вирішення зазначених завдань є інтегральна оцінка земельних ресурсів, яка дозволяє враховувати сукупний вплив природних та антропогенних чинників і визначати території з різним рівнем екологічного ризику. Використання геоінформаційних технологій забезпечує високу точність просторового аналізу, автоматизацію обробки даних та створення тематичних карт екологічного стану території.

Мета дослідження полягає у проведенні просторового аналізу та оцінки стану земельних ресурсів Житомирської області із застосуванням методів геоінформаційного аналізу для виявлення територій із підвищеним рівнем деградації та обґрунтування заходів раціонального природокористування.

Інтегральна оцінка стану земельних ресурсів базується на поєднанні системи показників, що характеризують природні особливості території та рівень антропогенного впливу. Для проведення дослідження використовуються дані дистанційного зондування Землі, цифрові моделі рельєфу, матеріали ґрунтових обстежень, статистичні дані та результати польових спостережень. Просторовий аналіз та картографування виконуються із використанням сучасних геоінформаційних технологій, що забезпечують високу точність оцінювання та можливість візуалізації результатів.

Основними критеріями інтегральної оцінки є агрохімічні показники ґрунтів, ступінь еродованості території, рівень розораності земель, інтенсивність антропогенного навантаження, забруднення ґрунтового покриву та особливості структури землекористування (таблиця 1). Важливим елементом дослідження є врахування морфометричних характеристик рельєфу, оскільки ухил поверхні суттєво впливає на розвиток ерозійних процесів.

Таблиця 1

Критерії інтегральної оцінки стану земельних ресурсів Житомирської області

Критерій оцінювання	Показник	Значення для оцінки стану земель
Агрохімічний стан ґрунтів	Вміст гумусу	Визначає рівень родючості ґрунтів
Ерозійна небезпека	Ступінь еродованості та ухил поверхні	Характеризує ризик деградації земель
Антропогенне навантаження	Рівень розораності території	Відображає інтенсивність господарського використання
Екологічний стан	Рівень забруднення ґрунтів	Показує ступінь техногенного впливу
Ландшафтна структура	Співвідношення природних та освоєних територій	Характеризує рівень трансформації ландшафтів
Гідрологічні умови	Перезволоження та підтоплення земель	Визначає вплив водного режиму на стан ґрунтів

На основі системи критеріїв формується інтегральний індекс екологічного стану земельних ресурсів. Для кожного показника визначаються вагові коефіцієнти залежно від ступеня їх впливу на стан земель. Після нормалізації показників здійснюється інтегрування даних та побудова картографічної моделі

екологічного стану території. Отримані результати дозволяють виділити території з критичним, напруженим, задовільним та сприятливим станом земельних ресурсів.

Додатково слід зазначити, що інтегральна оцінка земельних ресурсів є важливою складовою сучасної системи екологічного моніторингу територій. Її застосування дозволяє не лише фіксувати сучасний стан земель, а й виявляти тенденції розвитку деградаційних процесів у довгостроковій перспективі. Особливого значення це набуває для Житомирської області, де поєднання природних особливостей Полісся та активного господарського використання території формує складну структуру екологічних ризиків.

Суттєвим чинником погіршення стану земельних ресурсів є порушення природного співвідношення між сільськогосподарськими угіддями, лісовими масивами та природними кормовими угіддями. Надмірна розораність окремих територій сприяє активізації ерозійних процесів, зниженню вмісту органічної речовини у ґрунтах та погіршенню їх водно-фізичних властивостей. Крім того, в межах області спостерігається локальний вплив видобувної промисловості, наслідком чого є трансформація рельєфу, порушення ґрунтового покриву та зміна гідрологічного режиму територій. Просторовий аналіз земельних ресурсів Житомирської області дозволяє визначити закономірності поширення деградаційних процесів та встановити територіальні відмінності екологічного стану земель. Використання картографічних моделей дає можливість виявити осередки підвищеної ерозійної небезпеки, райони із значним антропогенним навантаженням та території з порушеним природним балансом. Особливо важливим є встановлення взаємозв'язку між структурою землекористування, особливостями рельєфу та рівнем деградації ґрунтового покриву.

У межах Житомирської області найбільш інтенсивні деградаційні процеси спостерігаються на територіях із високим рівнем сільськогосподарського освоєння та значною часткою розораних земель. Водночас північні райони області, де переважають лісові ландшафти, характеризуються більш стабільним екологічним станом земельних ресурсів. Такий підхід дозволяє не лише оцінити сучасний стан територій, а й визначити пріоритетні напрями природоохоронних заходів та оптимізації структури землекористування.

Проведений аналіз свідчить, що найбільш уразливими є райони з високим рівнем сільськогосподарського освоєння, значною розораністю території та активним розвитком ерозійних процесів. Водночас території з високою часткою лісових масивів характеризуються більш стабільним екологічним станом та нижчим рівнем деградації ґрунтового покриву. Значний вплив на стан земельних ресурсів мають також гірничодобувна діяльність, порушення водного режиму та локальне забруднення ґрунтів у межах урбанізованих територій.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення системи моніторингу земельних ресурсів, оптимізації структури землекористування та розроблення природоохоронних заходів. Результати інтегральної оцінки можуть бути використані органами місцевого самоврядування, екологічними установами та землекористувачами при розробленні регіональних програм охорони земель, схем землеустрою та стратегій сталого розвитку територій.

Таким чином, інтегральна оцінка екологічного стану земельних ресурсів є важливим інструментом комплексного аналізу природних та антропогенних процесів, що впливають на стан території. Використання сучасних методів просторового аналізу та геоінформаційних технологій забезпечує підвищення точності оцінювання деградаційних процесів, дозволяє оперативно виявляти території з підвищеним екологічним ризиком та здійснювати прогнозування змін стану земельних ресурсів. Отже, комплексний підхід до оцінювання земельних ресурсів сприяє формуванню науково обґрунтованої системи управління природокористуванням та створює передумови для збереження екологічної стійкості територій. Використання інтегральних методів оцінки є перспективним напрямом удосконалення системи охорони земель та забезпечення збалансованого розвитку регіонів України.

Для Житомирської області найбільш актуальними проблемами залишаються ерозія ґрунтів, надмірна розораність земель, локальне забруднення та порушення природної структури ландшафтів. Отримані результати створюють наукову основу для впровадження ефективних природоохоронних заходів, підвищення екологічної безпеки територій та забезпечення раціонального використання земельних ресурсів у контексті сталого розвитку регіону.

Список використаних джерел:

1. Браславська О.В., Нестеренко С.В., Герасимчук О.Л. Дистанційний геодезичний моніторинг: ключовий інструмент сталого управління земельними ресурсами. Містобудування та територіальне планування. 2025. Вип. 89. С. 488-502.
2. Мельник-Шамрай В.В. Аналіз стану використання земельного фонду Житомирської області. Екологічні науки : науково-практичний журнал. Видавничий дім «Гельветика». 2023. 5(50). С. 20-24.

УДК 504.064.2:628.3(477.42)

**Чістілін Д.В., здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 101 «Екологія»**

**Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА БІОІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У МІСТІ ЖИТОМИРІ

Зростаюча урбанізація та промисловий розвиток міста Житомира призводять до збільшення обсягів утворення стічних вод, що містять різноманітні забруднюючі речовини (органічні сполуки, важкі метали, азот, фосфор, мікробіологічні забруднення тощо). Недостатня або неефективна очистка цих вод становить серйозну загрозу для екологічного стану річок Тетерів та Кам'янка, їх притоки, ґрунтових вод, а також здоров'я населення міста та навколишніх територій. Традиційні методи очистки стічних вод часто є енергоємними, вимагають значних експлуатаційних витрат та можуть мати власні екологічні ризики (наприклад, утворення надлишкових осадів). Біологічні та біоінженерні системи очищення стічних вод, що ґрунтуються на використанні природних процесів та мікроорганізмів, стають все більш привабливою альтернативою завдяки їхній потенційній ефективності, екологічній безпеці та, в деяких випадках, меншим експлуатаційним витратам. У контексті Житомира, з його прагненням до сталого розвитку та європейських екологічних стандартів, оцінка доцільності та ефективності впровадження таких систем є критично важливою. Нами було проаналізовано поточний стан очистки стічних вод у Житомирі: критеріальний аналіз та обґрунтування вибору найбільш придатних біоінженерних систем для умов Житомира, враховуючи специфіку стічних вод, доступні ресурси (земельні ділянки, кліматичні умови) та техніко-економічні показники. Прогнозовано ефективність видалення основних забруднюючих речовин кожною з обраних систем. Було запропоновано науково обґрунтовані рекомендації для місцевих органів влади, комунальних підприємств та інвесторів щодо впровадження та оптимізації біоінженерних систем очищення стічних вод у Житомирі з метою покращення екологічної ситуації та сталого розвитку міста.

Проблема забруднення водних ресурсів є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, особливо в умовах швидкого зростання міст та промисловості. Стічні води містять широкий спектр забруднюючих речовин: органічні сполуки, важкі метали, нафтопродукти, мікроорганізми, фармацевтичні препарати тощо. Традиційні методи очищення часто є енергоємними, вимагають значних площ та не завжди ефективні для видалення всіх типів забруднень. У цьому контексті біоінженерні рішення набувають все більшої актуальності як екологічно безпечні, економічно вигідні та вискоелективні альтернативи. Аналіз літературних джерел з теоретико-методичної розробки проблеми біоінженерних рішень для очищення стічних вод свідчить про інтенсивні дослідження та активний розвиток цього напрямку. Значна частина стічних вод у Житомирській області потребує більш ефективного очищення. Зокрема, у статті «Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини» [5] зазначається, що лише 93,9% стічних вод, що надходять на очисні споруди, відповідають нормам очищення. Це вказує на потенційну проблему забруднення поверхневих вод. Захворювання, що виникають у людей безпосередньо внаслідок вживання небезпечної питної води, яка містить компоненти з токсичною дією, включаючи канцерогени та мутагени, досягають близько 80% [4]. Згідно з дослідженнями [1, 3], вплив водних ресурсів на здоров'я людини визначається декількома факторами: якістю підземних і поверхневих вод, а також якістю води, що постачається централізовано. У науковому дослідженні [2] акцентовано, що тривале вживання питної води, забрудненої хімічними речовинами, сприяє розвитку патологічних змін в організмі. Варто зазначити думку про те, що вживання води з шкідливими речовинами здатне викликати фізіологічні зміни та призводити до патологічних наслідків для здоров'я людини [3].

Ефективно провести екологічну оцінку, важливо сфокусуватися на аспектах, які ще не були належним чином досліджені або вирішені, особливо в контексті міста Житомира. Чи існують специфічні, гранульовані екологічні дослідження для водойм, безпосередньо залучених у місцях скидання стічних вод у Житомирі? Це може включати конкретні оцінки біорізноманіття (макробезхребетні, риби, флора), комплексні фізико-хімічні параметри (окрім стандартних БПК/ХПК) та аналіз донних відкладень, які, можливо, не були ретельно задокументовані чи оновлені останнім часом. Зосереджуючись на цих невирішених частин проблеми, наша екологічна оцінка зможе надати нові, цінні відомості, спеціально адаптовані для Житомира, а не просто повторювати загальновідомі факти. Забезпеченість міста водою, а також роль Тетерева як водного шляху у середньовіччі визначили масштаб самого міста, його розвиток і роль в регіоні. Власне, й топографія Житомира, його територіальний розвиток теж красномовно свідчать про першорядність фактору водозабезпечення. Якщо проаналізувати найдавнішу з відомих нам карту Житомира 1781 року, то переконаєшся в тому, що саме оті струмки і річечки - притоки Тетерева чи Кам'янки - формували забудову міста і були своєрідними природними "архітекторами". Справді, наприкінці 18 сторіччя міська забудова шикувалася вздовж в'їзних доріг: з Вересів, Черняхова, Вільська, Барашівки, Троянова, Сінгурів, Станишівки, Левкова. Сьогодні це, відповідно, вулиці Київська, Щорса,

Перемоги, Короленка, Якіра, Черняхівського, Велика Бердичівська, Корольова. Але перші важливі нетранспортні вулиці (тобто, власне міські житлові вулиці, а не міські дороги) виникли саме вздовж або біля водоймищ. Під терміном «міські стічні води» розуміють суміш різних категорій стічних вод (господарсько-побутових, виробничих, атмосферних), яка надходить для очистки на міські каналізаційні очисні станції [5]. Міські стічні води мають види, які ми зараз розглянемо:

1. Господарсько-побутові стічні води утворюються при використанні водопровідної води у побуті і відводяться від санітарних приладів житлових будинків, банно-пральних комбінатів, підприємств громадського харчування, установ (шкіл, лікарень тощо). Вони містять фізіологічні виділення людей, а також господарські відходи.

2. Виробничі стічні води надзвичайно різноманітні за кількістю і складом, які, у свою чергу, залежать від виду виробництва, сировини і технології, що застосовується.

3. Атмосферні стічні води утворюються на території об'єкту, що каналізується, при випаданні дощу, танення снігу і при митті вулиць.

4. В залежності від системи каналізації господарсько-побутові і виробничі, або господарсько-побутові, виробничі і атмосферні стічні води надходять у міську каналізаційну мережу, утворюючи міські стічні води. У складі міських стічних вод приблизно 40-60% - це виробничі стічні води. В кожному населеному пункті розміщуються підприємства різноманітних галузей промисловості, в результаті чого не існує міських стічних вод, абсолютно однакових за складом. Вибір схеми мереж проводиться за тими ж правилами, що і елементи каналізації. Трасування вуличних каналізаційних мереж може бути здійснене за трьома основними схемами. Схема з пониженого боку кварталу (а) застосовують при вираженому рельєфі з поділенням відміток рівня землі до однієї або двох граней кварталу (рис.1.).

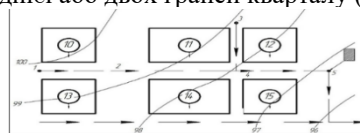


Рис. 1. Понижений бік кварталу (а)

Через квартальна схема (б) передбачає, що вуличні мережі прокладені всередині кварталів - від вище розташованих до нижче розташованих, що дозволяє скоротити довжину каналізаційних мереж і вартість її будівництва (рис. 2).

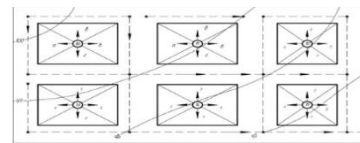


Рис. 2. Черезквартальна схема

Висновок. Господарська діяльність людини зумовила пошкодження і вичерпування природних джерел ресурсів, що призводить до деформації сформованих протягом багатьох мільйонів років природного кругообігу речовин та енергетичних потоків на планеті. Внаслідок цього почалося прогресуюче руйнування біосфери землі, що може набути характеру незворотних процесів і навколишнє середовище може стати непридатним для існування. Україна через високий рівень концентрації промислового виробництва та сільського господарства, внаслідок хижацького використання природних ресурсів протягом десятиріччя перетворилася в одну з найнебезпечніших в екологічному відношенні країн. Нинішня екологічна ситуація в Україні характеризується як глибока еколого-економічна криза.

Список використаних джерел:

1. Луньова О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини. Екологічні науки, 2022 № 6(45) с.31-34.
2. Demchenko K.V. Otsinka efektyvnosti ekolohichnoi modernizatsii vyrobnytstva tseментu за metodykoіu, zasnovanoіu на teorii konkurentnykh perevah [Evaluation of the effectiveness of environmental modernization of cement production by the methodology based on the theory of competitive advantages]. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho unіversytetu : seriia: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo. Uzhhorod. 2019. Vyp. 23 (1). S. 75-79.
3. Andrusyshyna, I. M. (2015). Vplyv mineralnoho skladu pytnoi vody na stan zdorovia naseleння (ohliad literatury) [Influence of mineral composition of drinking water on population health (literature review)]. Voda i vodoochisni tekhnolohii. Naukovotekhnichni visti, (1(16)), 22-31.
4. Cherneha, A. M., & Ishchenko, V. A. (2016). Doslidzhennia skladu pytnoi vody z dzherel detsentralizovanoho vodopostachannia [Research of drinking water composition from decentralized water supply sources]. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, (4), 32-35.
5. Чістлілн Д.В., Демчук Л.І., Русецька Н.М. Екологічна оцінка біоінженерних систем для очищення стічних вод у місті Житомирі. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Серія: Технологія захисту навколишнього середовища. 2025. Вип. 3. С. 261-271. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.3\(501\).31](https://doi.org/10.15589/znp2025.3(501).31)

Чоботько І.І., ст. викладач
кафедри спеціальної фізичної підготовки
Дніпровський державний університет внутрішніх справ

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ГОРІННЯ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ НА ОСНОВІ БПЛА

Відповідно до Національного плану управління відходами до 2033 року [1] та Плану заходів з реалізації Національного плану управління відходами на 2025-2033 роки [2] за даними Держстату, за 2020 рік в Україні утворено понад 462,4 млн. тонн відходів, у тому числі 85 відсотків відходів видобувної промисловості. Значна частина з цих відходів вуглевидобутку має термічні осередки горіння, які негативно впливають на навколишнє середовище гірничодобувного району та прилеглих житлових забудов.

З початком повномасштабного вторгнення РФ в Україну у 2022 році слід рахувати відправною точкою розвитку технологій з використання БПЛА. На сьогоднішній день БПЛА застосовуються у різноманітних сферах нашого життя від оборонної до цивільної.

В рамках використання БПЛА у гірничій промисловості існують декілька допоміжних оптичних пристроїв сканування теплового стану відходів вуглевидобутку в залежності від виду поставлених задач:

- Камери візуального спектра (RGB), відеозйомка, фотозйомка, трансляція в реальному часі, інспекції, охорона, рекламна зйомка;
- Мультиспектральні камери, агромоніторинг (NDVI, NDRE), виявлення рослинних хвороб, стану ґрунтів, зволоженості;
- Тепловізори (інфрачервоні камери), пошук людей і тварин, нічне спостереження, контроль температури будівель, ліній електропередач, обладнання;
- Камери ближнього інфрачервоного діапазону (NIR), аналіз біомаси, оцінка вологості, дистанційний моніторинг хвостосховищ, ґрунтів;
- Лідари (LiDAR - LightDetectionandRanging), геодезія, археологія, інженерні обстеження, створюють 3D-моделі місцевості, об'єктів, рослинності.

Розглянуто технічні аспекти моніторингу з використанням різних сенсорів (RGB, мультиспектральні, тепловізійні), методи обробки та рівні автономності польотів. У [4] описано інтегровану систему БПЛА для моніторингу самозаймання відходів, що підвищує точність, скорочує час реакції та придатна до масштабування. Загалом системи мають гнучку, адаптивну структуру. Запропоновано підхід із поєднанням теплової зйомки БПЛА, batch-обробки, фільтрації псевдотемператур і 3D-моделювання, що підвищує точність локалізації зон горіння. Обґрунтовано ефективність БПЛА з тепловізорами для раннього виявлення самонагрівання, з критикою традиційних методів і підтвердженням високої оперативності та точності. Автоматизована система моніторингу радіації й газів із використанням БПЛА та бездротових сенсорних мереж підтверджується ефективністю польових випробувань та можливістю масштабування. Метод 3D-термального картографування (політ, збір, обробка, фотограмметрія, SIFT), успішно застосований для виявлення зон горіння. Показано ефективність мультисенсорних БПЛА для оцінки біомаси; RGB-знімки забезпечують близьку точність при менших витратах, а біомаса корелює з підповерхневими температурами, що дає змогу виявляти самозаймання. узагальнено застосування БПЛА (2010-2023): екологічний моніторинг, 3D-моделювання (LiDAR, SfM), тепловізія, AI (SA-DNN); підкреслено ефективність у виявленні деформацій і самозаймання та перспективи розвитку стандартів і автообробки. У доведено, що RGB-БПЛА через аналіз AGB люцерни ефективніші за TIR для раннього виявлення прихованого самозаймання; метод є швидким, безпечним і економним для масштабного моніторингу [3, 4].

Список використаних джерел:

1. Додаток до Національного плану з реалізації Національного плану управління відходами на 2025-2033 роки. План заходів. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/123/f542151n27.pdf>
2. Кабінет Міністрів України. (2024, 27 грудня). Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року (Розпорядження № 1353-р). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/123/f542151n26.pdf>
3. Do, T. P. T., LongQuocNguyen, LeHungTrinh, & Vambol, V. (2024). Comprehensive review of unmanned aerial vehicle application to safety mining management. *EcologicalQuestions*, 35(4), 69-90. <https://doi.org/10.12775/EQ.2024.049>
4. Тинина С.В., Чоботько І.І., Кулак Є.А., Шевельова Г.М. (2023). Про моніторинг геомеханічних систем які знаходяться під техногенним впливом. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, 25, 141-152. <https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.011>

**Чорноштан В.А., студентка IV курсу, групи ЗТЗНС-22,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравчук-Ободзінська Т.В., PhD,
ст. викладач кафедри екології та природоохоронних технологій,
Сікач Т.І., асистент кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВПЛИВ АГРАРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЯКІСТЬ ҐРУНТОВИХ ВОД: ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА

Сучасне сільське господарство є однією з провідних галузей економіки України, однак його інтенсивний розвиток супроводжується значним антропогенним впливом на природні ресурси, зокрема на ґрунтові води. Активне застосування мінеральних добрив, засобів захисту рослин, зрошення та механічний обробіток ґрунтів сприяють надходженню різноманітних забруднюючих речовин у водоносні горизонти. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває екологічна оцінка впливу аграрної діяльності на якість ґрунтових вод та розробка ефективних заходів щодо її збереження [1].

Основними джерелами забруднення ґрунтових вод у сільському господарстві є надлишкове внесення азотних і фосфорних добрив, використання пестицидів, а також відходи від тваринництва. Нітрати є одними з найбільш поширених забруднювачів, оскільки вони легко розчиняються у воді та швидко проникають у ґрунтові води. Пестициди, залежно від їх хімічної структури, можуть тривалий час зберігатися в ґрунті та поступово мігрувати у водоносні горизонти [1]. Додатковим джерелом забруднення є нераціональне використання органічних добрив і стічні води агропідприємств.

Міграція забруднюючих речовин у ґрунтові води залежить від низки факторів, зокрема типу ґрунту, його структури, водопроникності, кліматичних умов та гідрогеологічних особливостей території. Легкі піщані ґрунти сприяють швидкому проникненню забруднювачів, тоді як глинисті ґрунти можуть частково затримувати їх. Інтенсивні опади або зрошення підсилюють процес вимивання речовин у нижні горизонти, що підвищує ризик забруднення вод.

Екологічна оцінка якості ґрунтових вод передбачає визначення концентрації забруднюючих речовин, таких як нітрати, амоній, фосфати, пестициди та важкі метали, і порівняння їх із гранично допустимими концентраціями. Для цього застосовуються лабораторні методи аналізу, моніторинг водоносних горизонтів, а також математичне моделювання процесів міграції забруднювачів [2]. Важливим є також використання геоінформаційних систем для просторового аналізу стану водних ресурсів.

Забруднення ґрунтових вод має серйозні екологічні та соціальні наслідки. Вода, що використовується для пиття, при підвищеному вмісті нітратів може становити небезпеку для здоров'я людини, зокрема викликати метгемоглобінемію у дітей. Наявність пестицидів і важких металів у воді може мати токсичний і канцерогенний ефект.

З метою зменшення негативного впливу аграрної діяльності на ґрунтові води необхідно впроваджувати комплекс взаємопов'язаних природоохоронних заходів, спрямованих на раціональне використання ресурсів і мінімізацію надходження забруднюючих речовин у водоносні горизонти. Одним із ключових напрямів є оптимізація внесення мінеральних і органічних добрив, що передбачає їх застосування у науково обґрунтованих дозах з урахуванням потреб рослин, типу ґрунту та кліматичних умов [2]. Надмірне внесення добрив, особливо азотних, призводить до накопичення нітратів, які легко вимиваються з ґрунту та потрапляють у ґрунтові води.

Окрему увагу слід приділити контролю за утилізацією відходів тваринництва, які є джерелом органічного забруднення та надходження сполук азоту у водне середовище. Неправильне зберігання та використання гною і гноївки може призводити до значного забруднення ґрунтових вод.

Таким чином, аграрна діяльність є важливим фактором впливу на якість ґрунтових вод. Комплексна екологічна оцінка та впровадження сучасних технологій і природоохоронних заходів дозволяють зменшити рівень забруднення, зберегти водні ресурси та забезпечити екологічну безпеку населення.

Список використаних джерел:

1. Романчук Л.Д., Голуб В.О., Кравчук-Ободзінська Т.В. Біотехнологічні підходи до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах кліматичних змін (на прикладі злакових культур). *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2025. Випуск 5(62). Том 2. С. 179-183. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.29>

2. Алпатово О.М., Кравчук-Ободзінська Т.В., Сікач Т.І. Вплив кліматичних умов і біотехнологій на виробництво екологічно безпечної харчової продукції на прикладі нішевих культур. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. № 145. С. 307-312. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.35>

**Шихненко К.О., здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 103 «Науки про Землю»
Науковий керівник: Скиба Г.В.
к.т.н., доц., доц. кафедри сталої інфраструктури та гідроекології
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ОЦІНКА БУФЕРНОЇ ТА САМООЧИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОДОЗБОРУ РІЧКИ ІРША НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ ГІДРОХІМІЧНИХ ТА ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

В умовах сучасного розвитку суспільства та зростання антропогенного навантаження на довкілля особливого значення набуває дослідження стану малих річок, які є найбільш чутливими до змін природного та техногенного характеру. Водні екосистеми виконують важливі екологічні, господарські та соціальні функції, однак їхній стан значною мірою залежить від інтенсивності впливу людини [1]. Особливо це стосується річок урбанізованих територій, де концентрація джерел забруднення є максимальною.

Річка Ірша є лівою притокою річки Тетерів і відіграє важливу роль у формуванні водних ресурсів Житомирського регіону. Водночас вона зазнає значного впливу промислових підприємств, комунального господарства та сільського виробництва. Це призводить до зміни гідрохімічного режиму, накопичення забруднюючих речовин та зниження здатності річки до природного самоочищення [2].

Метою дослідження є оцінка буферної та самоочисної здатності водозбору річки Ірша на основі аналізу динаміки гідрохімічних та гідрологічних показників. Для досягнення поставленої мети було використано дані екологічних паспортів Житомирської області за 2021-2024 роки, що дозволило простежити зміну основних показників якості води у часі та просторі [3].

У процесі дослідження проаналізовано такі гідрохімічні показники: біохімічне споживання кисню (БСК₅), хімічне споживання кисню (ХСК), концентрації фосфатів, заліза, амонійного азоту, а також вміст розчиненого кисню. Дані показники є ключовими для оцінки ступеня органічного забруднення води та інтенсивності процесів самоочищення.

Для оцінки здатності річки до біохімічного розкладу органічних речовин було використано коефіцієнт біохімічного розпаду. Результати розрахунків показали, що значення коефіцієнта $K_{бiод}$ упродовж досліджуваного періоду знаходяться в межах 0,09-0,11. Це свідчить про низьку ефективність біохімічного розкладу органічних речовин, що характерно для наявності стійких до окиснення сполук, пов'язаних із промисловим забрудненням.

Аналіз динаміки гідрохімічних показників показав, що у створі м. Малин спостерігаються вищі значення ХСК (до 32,10 мг/дм³) та феруму (до 0,496 мг/дм³) порівняно зі створом смт Нова Борова. Це свідчить про додаткове надходження забруднюючих речовин вниз за течією річки. Водночас концентрації розчиненого кисню залишаються відносно стабільними (10,8-11,6 мг/дм³), що вказує на часткове збереження природних процесів аерації та саморегуляції.

Оцінка просторового розподілу показників дозволила встановити, що річка Ірша характеризується неоднорідністю якості води. У верхній частині водозбору спостерігається відносно кращий стан водного середовища, тоді як у межах урбанізованих територій відбувається накопичення забруднюючих речовин.

У ході дослідження встановлено, що незважаючи на відносну стабільність окремих показників, загальна буферна здатність водного середовища є обмеженою. Це проявляється у зростанні концентрацій окремих забруднювачів та зниженні ефективності процесів природного самоочищення.

Отримані результати свідчать про те, що сучасний стан річки Ірша характеризується перевищенням антропогенного навантаження над природними можливостями екосистеми до самовідновлення. Це обумовлює необхідність впровадження ефективних природоохоронних заходів, зокрема удосконалення систем очищення стічних вод, контролю за скидами забруднюючих речовин та впровадження принципів інтегрованого управління водними ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Скиба Г. В., Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Курило С. М., Шихненко К. О. Сталий розвиток водних ресурсів малих річок урбанізованих ландшафтів Житомирського адміністративного району. Природнича освіта та наука. 2025. № 4. С. 232-242. DOI: <https://doi.org/10.32782/NSER/2025-4.30>
2. Єльнікова Т. О., Коцюба І. Г., Герасимчук О. Л., Скиба Г. В. Дослідження екологічного стану річки Ірша. Водні біоресурси та аквакультура. 2021. № 1. С. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.2>
3. Екологічний паспорт Житомирської області за 2024 рік. Житомир, 2025.

Юрковська О.С., студентка 4 курсу,
група ЗНЗ-22, ФГСПБ
Герасимчук О.Л., к.пед.н.,
доц. кафедри сталої інфраструктури та гідроекології
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНОЇ РЕАКЦІЇ БАСЕЙНУ РІЧКИ СЛУЧ НА ЕКСТРЕМАЛЬНІ АТМОСФЕРНІ ОПАДИ

Сучасні кліматичні зміни супроводжуються зростанням частоти та інтенсивності небезпечних гідрометеорологічних явищ, серед яких особливе місце займають екстремальні атмосферні опади. Значні короточасні дощі призводять до формування паводків, активізації ерозійних процесів, підтоплення територій та порушення функціонування річкових басейнів. У межах Поліського регіону України такі процеси мають важливе екологічне та господарське значення, оскільки впливають на стан водних ресурсів, ґрунтового покриву та інфраструктури населених пунктів.

Одним із характерних водних об'єктів регіону є річка Случ, басейн якої охоплює значні території Житомирської області та відзначається складними умовами формування стоку. Поєднання природних особливостей рельєфу, високого рівня лісистості, заболоченості окремих ділянок та антропогенного освоєння території формує специфічну гідрологічну реакцію басейну на інтенсивні опади. У зв'язку з цим актуальним є дослідження закономірностей зміни водного режиму річки Случ під впливом екстремальних атмосферних явищ та оцінка ризиків виникнення паводкових процесів.

Мета дослідження полягає у визначенні особливостей гідрологічної реакції басейну річки Случ на екстремальні атмосферні опади та оцінці їх впливу на формування поверхневого стоку і розвиток небезпечних гідрологічних процесів.

Атмосферні опади грають суттєву роль в процесі формування стоку р. Случ. Територія басейну р. Случ знаходиться в зоні достатнього зволоження. Середня багаторічна кількість опадів становить 581 мм. Найбільша кількість опадів випадає в північній частині басейну і становить 611 мм. Зменшення кількості опадів спостерігається на південний захід до межі із Хмельницькою областю і становить 520-540 мм. На протязі року опади розподіляються нерівномірно. Більша частина 70-72% річної суми випадає в теплий період року з квітня по жовтень.

У річному ході добового максимуму чітко прослідковується збільшення опадів в літній сезон внаслідок переважання в цей час зливових опадів. Максимальна кількість опадів випадає в червні-серпні (61-90 мм), а мінімальна сума опадів спостерігається в зимові місяці (25-32 мм).

Гідрологічна реакція річкового басейну визначається сукупністю природних та антропогенних чинників, серед яких провідне значення мають інтенсивність і тривалість опадів, особливості рельєфу, тип ґрунтів, рослинний покрив та структура землекористування. Для басейну річки Случ характерною є нерівномірність розподілу атмосферних опадів протягом року, що зумовлює значні коливання водності річки.

Під час інтенсивних короточасних опадів спостерігається швидке формування поверхневого стоку, особливо на територіях із високим рівнем розораності та порушеним рослинним покривом. Це сприяє підвищенню рівнів води у річці, збільшенню швидкості течії та активізації процесів берегової ерозії. Водночас значна лісистість окремих ділянок басейну виконує водорегулюючу функцію, зменшуючи інтенсивність поверхневого стоку та затримуючи частину атмосферної вологи. Для оцінки гідрологічної реакції басейну важливим є аналіз основних чинників формування паводкового стоку (таблиця 1).

Значний вплив на гідрологічну реакцію мають ґрунтові умови території. Для басейну Случі характерне поширення дерново-підзолистих і супіщаних ґрунтів, які за нормальних умов забезпечують достатній рівень інфільтрації атмосферної вологи. Однак у періоди тривалих дощів відбувається насичення ґрунтів водою, що суттєво знижує їх водопоглинальну здатність і призводить до активізації поверхневого стоку.

Лісові масиви виконують важливу водорегулюючу функцію у межах басейну річки Случ. Завдяки затриманню атмосферних опадів кронами дерев, накопиченню вологи у лісовій підстилці та покращенню інфільтраційних процесів зменшується інтенсивність паводкових хвиль і стабілізується водний режим річки. Водночас значна розораність окремих територій та порушення природного рослинного покриву сприяють посиленню ерозійних процесів і збільшенню обсягів поверхневого стоку.

Суттєвий вплив на формування паводкових процесів має також стан руслової мережі. Замулення русел, зарегулювання стоку та забудова прибережних територій знижують пропускну здатність річкової системи, що може призводити до локальних підтоплень під час інтенсивних опадів. Антропогенна трансформація природних ландшафтів змінює природний механізм перерозподілу водних потоків та посилює ризики виникнення небезпечних гідрологічних явищ.

Вплив природних та антропогенних чинників на гідрологічну реакцію басейну Случі під час екстремальних опадів

Чинник	Особливості прояву в басейні Случі	Вплив на гідрологічні процеси
Інтенсивність та тривалість опадів	Короткочасні зливові дощі в літній період	Формування швидкого поверхневого стоку та різке підвищення рівнів води
Рельєф території	Хвилясті та похилі ділянки водозбору	Прискорення концентрації водних потоків і розвиток схилової ерозії
Тип ґрунтів	Дерново-підзолисті та супіщані ґрунти Полісся	Визначають інтенсивність інфільтрації та акумуляції вологи
Лісистість басейну	Значна частка лісових масивів у верхів'ях річки	Зменшення поверхневого стоку та стабілізація водного режиму
Розораність території	Високий рівень сільськогосподарського освоєння окремих ділянок	Посилення ерозійних процесів і збільшення паводкового стоку
Перезволоження ґрунтів	Попереднє насичення ґрунтів вологою після тривалих опадів	Зниження інфільтраційної здатності та збільшення ризику паводків
Стан руслової мережі	Замулення окремих ділянок русла та заплав	Погіршення пропускної здатності річки та локальні підтоплення
Антропогенна трансформація ландшафтів	Осушення земель, забудова прибережних територій	Порушення природного водного режиму басейну

Аналіз особливостей басейну Случі свідчить, що найбільш небезпечні гідрологічні ситуації формуються в умовах поєднання інтенсивних атмосферних опадів із попереднім перезволоженням ґрунтів. У таких умовах різко знижується здатність ґрунтового покриву до інфільтрації води, що призводить до збільшення поверхневого стоку та швидкого підвищення рівнів води у річці. Особливо небезпечними є літні зливові паводки, які характеризуються коротким періодом формування та значною інтенсивністю водного потоку.

Важливу роль у дослідженні гідрологічної реакції басейну відіграють методи просторового аналізу та геоінформаційного моделювання. Їх використання дозволяє визначати найбільш уразливі ділянки території, оцінювати ризики підтоплення та прогнозувати зміни водного режиму річки за різних сценаріїв кліматичних змін. Отримані результати можуть бути використані для розроблення заходів щодо зменшення негативних наслідків паводків та оптимізації системи управління водними ресурсами басейну.

Таким чином, гідрологічна реакція басейну річки Случ на екстремальні атмосферні опади характеризується складною взаємодією природних та антропогенних чинників. Основними наслідками інтенсивних опадів є збільшення поверхневого стоку, підвищення рівнів води, розвиток паводкових процесів та активізація ерозії русел і схилів. Встановлено, що важливу роль у регулюванні стоку відіграють лісові масиви та природний стан водозбору, які сприяють зменшенню паводкових піків.

В умовах сучасних кліматичних змін важливого значення набуває вдосконалення системи моніторингу гідрологічних процесів у межах річкових басейнів. Для басейну річки Случ актуальним є створення комплексної системи спостережень за динамікою атмосферних опадів, рівневим режимом річки та змінами стану водозбору. Використання сучасних методів дистанційного зондування Землі, геоінформаційного аналізу та математичного моделювання дозволяє оперативно оцінювати масштаби паводкових процесів і прогнозувати можливі наслідки екстремальних гідрометеорологічних явищ. Особливого значення набуває розроблення природоорієнтованих заходів регулювання стоку, зокрема збереження лісових масивів, відновлення природних заплав та оптимізація структури землекористування.

Використання методів просторового аналізу та сучасних підходів до оцінки гідрологічних процесів дозволяє підвищити ефективність моніторингу водних ресурсів і створює наукову основу для прогнозування небезпечних гідрологічних явищ у межах басейну Случі.

Список використаних джерел:

1. Шевчук Л. М., Герасимчук О. Л., Васільєва Л. А. Аналіз та оцінка надзвичайних ситуацій, пов'язаних з повеннями в Україні. Географія та туризм. 2024. Вип. 76. С. 44-52.
2. Васільєва Л.А., Шевчук Л.М., Герасимчук О.Л. Передумови виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру на території Житомирської області. Екологічні науки. 2023. Вип. 6(51). С. 14-17.
3. Василенко Л. О., Жукова О. Г., Русінов Т. О. Оцінка якості води річки Случ за гідрохімічними показниками. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ : КНУБА, 2016. Вип. 27. С. 24-29.

**Юшкевич В.А., студент IV курсу
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища»,
Науковий керівник: Демчук Л.І., к.пед.н., доц.
кафедри екології та природоохоронних технологій
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ У МІНІМІЗАЦІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ.

Актуальність дослідження полягає в тому, що глобальні кліматичні зміни, зумовлені інтенсивним накопиченням парникових газів в атмосфері, вимагають пошуку ефективних механізмів декарбонізації. У цьому контексті лісові екосистеми відіграють ключову роль як потужні природні поглиначі вуглецю. Здатність лісів секвеструвати діоксид вуглецю та утримувати його в біомасі й ґрунтах робить їх невід'ємною складовою національних та міжнародних стратегій пом'якшення наслідків зміни клімату.

Для України проблема збереження та примноження вуглецевого потенціалу лісів є надзвичайно гострою, особливо в умовах макрорегіону Полісся. Житомирська область є одним із найбільш лісистих регіонів держави, що акумулює значну частку загальнонаціонального запасу лісової фітомаси. Відповідно, екосистеми цього регіону виступають критично важливим екологічним донором, що забезпечує стабілізацію парникового ефекту та підтримання кліматичного балансу.

Протягом останніх років лісове господарство Житомирщини зазнає впливу комплексу стресових факторів, серед яких зміни температурного режиму, пожежі та інтенсивна лісозаготівельна діяльність. Водночас впровадження нових підходів, таких як системний перехід до створення мішаних насаджень з 2023 року, спрямоване на підвищення стійкості лісів. Це створює нові умови для формування вуглецевого балансу, які потребують детального наукового осмислення та моніторингу.

Саме тому еколого-технологічна оцінка потенціалу лісових екосистем Житомирської області є нагальною потребою сьогодення. Застосування сучасних методів аналізу, геоінформаційних систем та інноваційних лісогосподарських практик дозволить не лише об'єктивно оцінити обсяги депонованого вуглецю, але й розробити дієві технологічні рішення для мінімізації викидів парникових газів у майбутньому.

Аналіз наукових публікацій за останні три роки (2023-2026 рр.) свідчить про зростаючий інтерес дослідників до проблеми вуглецевого балансу лісів в умовах глобальних змін. Динаміка поглинання парникових газів лісовими екосистемами рівнинної частини України ґрунтовно проаналізована Т. О. Шевченко та О. В. Бойко (2023) [1]. Важливість впровадження технологічних інновацій для моніторингу лісових ресурсів обґрунтовано в дослідженнях О. М. Ковальчука (2024), який наголошує на необхідності просторового аналізу [2]. У працях С. В. Пугача та співавторів (2025) детально розглядаються екосистемні послуги лісів Полісся з акцентом на їх здатність до секвестрації вуглецю в умовах інтенсивного ведення господарства [4]. Питання кліматично-орієнтованого лісівництва як інструменту адаптації розкрито у свіжих роботах В. І. Мельника (2026) [5]. Проте, комплексна еколого-технологічна оцінка потенціалу лісів Житомирщини з урахуванням новітніх змін у породному складі та обсягах лісозаготівлі залишається недостатньо висвітленою.

Лісовий фонд Житомирської області характеризується високим рівнем лісистості, що охоплює понад 1 мільйон гектарів, утворюючи потужний екологічний каркас регіону. Основу цих лісових масивів становлять насадження хвойних порід, серед яких абсолютно домінує сосна звичайна, а також значна частка твердолистяних (дуб) і м'яколистяних порід (береза, вільха). Завдяки такій масштабній структурі, ці екосистеми є гігантським резервуаром акумулювання парникових газів, який відіграє стабілізуючу роль у вуглецевому циклі Східної Європи. Процес депоновання вуглецю в цих лісах є складною біогеохімічною системою, що розподіляється між чотирма основними пулами: надземною фітомасою, підземною частиною (кореневими системами), мертвою деревиною (фітодетритом) та ґрунтовим покривом. За розрахунками, понад 55% усього зв'язаного вуглецю акумулюється саме в стовбуровій деревині та гіллі живої фітомаси, тоді як ґрунти Полісся зберігають близько 35-40% органічного вуглецю. Забезпечення стабільності цих резервуарів є ключовим технологічним завданням управління екосистемами.

Для наочного розуміння масштабів поглинання парникових газів доцільно розглянути структуру розподілу площ та орієнтовних обсягів накопиченого вуглецю за основними лісотвірними породами Житомирської області. Дані свідчать, що хвойні насадження є головними акумуляторами завдяки їх домінуванню та специфіці формування біомаси (табл. 1).

Таблиця 1

Деревна порода	Частка від загальної площі лісів, %	Орієнтовний запас депонованого вуглецю, млн. т
Сосна звичайна	60	45,5
Дуб звичайний	20	15,2
Береза повисла	12	8,4
Інші (вільха, осика тощо)	8	5,1
Разом	100	74,2

Сучасна еколого-технологічна оцінка вуглецевого потенціалу вимагає використання передових інструментів просторового аналізу, зокрема геоінформаційних систем (ГІС) та даних дистанційного зондування Землі. Синтез супутникових знімків із наземними таксаційними даними дозволяє точно ідентифікувати ділянки з найвищою інтенсивністю фотосинтезу. Такий технологічний підхід мінімізує похибки у розрахунках вуглецевого балансу та дає можливість прогнозувати динаміку поглинання парникових газів у режимі реального часу.

Особливу увагу слід приділити сосновим насадженням, які формують ліву частку депонованого вуглецю регіону. Їхня ефективність щодо поглинання діоксиду вуглецю сягає максимуму у віці від 40 до 70 років, після чого інтенсивність секвестрації поступово знижується через природне старіння деревостану. Відповідно, технологічне регулювання вікової структури лісів через раціональну систему доглядів є дієвим механізмом підтримки безперервно високого рівня абсорбції.

Вагомим технологічним та екологічним зрушенням останніх років стала зміна стратегії лісовідновлення на Житомирщині, зокрема активний перехід до створення мішаних лісів замість монокультур. Поєднання хвойних і листяних порід суттєво підвищує стійкість екосистем до кліматичних аномалій, спалахів шкідників та масштабних лісових пожеж, які спричиняють раптові масовані викиди парникових газів. Доведено, що мішані насадження у довгостроковій перспективі забезпечують більш надійне утримання вуглецю.

Окрім оцінки природного поглинання, необхідно враховувати фактори вилучення вуглецю з екосистем у результаті господарської діяльності. Згідно з аналітичними даними [3], у 2024-2025 роках Житомирська область впевнено утримувала лідерство в Україні за обсягами заготівлі деревини. Значна частина цієї біомаси була реалізована як паливна сировина, термічна утилізація якої повертає вуглець в атмосферу. Тому для збереження кліматичного нейтралітету критично важливо, щоб обсяги щорічного приросту фітомаси перевищували обсяги рубок та відпаду.

Мінімізація викидів парникових газів безпосередньо залежить і від технологічного оснащення лісогосподарських підприємств. Впровадження сучасної лісозаготівельної техніки (харвестерів, форвардерів) з оптимізованими двигунами, перехід на використання біопалива та раціоналізація логістичних маршрутів транспортування дозволяють скоротити виробничий "вуглецевий слід" галузі. Екологізація технологічних процесів у самому лісовому господарстві стає обов'язковою вимогою часу.

Підсумовуючи результати еколого-технологічного аналізу, можна стверджувати, що лісові екосистеми Житомирської області володіють потужним ресурсом для пом'якшення наслідків зміни клімату. Реалізація сценарію оптимізованого лісокористування, що поєднує розширення площ мішаних стійких лісів, збереження ґрунтового вуглецю та модернізацію технічного парку підприємств, здатна підвищити загальний обсяг поглинання парникових газів. Це надійно закріплює за Житомирщиною статус стратегічно важливого екологічного ядра у національній системі декарбонізації.

Висновок. Лісові екосистеми Житомирської області володіють потужним потенціалом у сфері поглинання парникових газів, який становить понад 74 млн тонн депонованого вуглецю. Еколого-технологічна оцінка засвідчує, що збереження та примноження цього потенціалу вимагає інтеграції сучасних ГІС-технологій, переходу до формування кліматично-стійких мішаних насаджень та екологізації самої лісозаготівельної діяльності. Забезпечення балансу між економічними потребами в деревині та екологічною функцією лісів є ключовим інструментом для досягнення національних цілей декарбонізації.

Список використаних джерел:

1. Бойко О. В., Шевченко Т. О. Динаміка поглинання парникових газів лісовими екосистемами рівнинної частини України. Агроекологічний журнал. 2023. № 3. С. 88-95.
2. Ковальчук О. М. Технологічні інновації в лісовому менеджменті: просторовий аналіз. Лісовий вісник. 2024. № 1(14). С. 45-52.
3. Державне агентство лісових ресурсів України. Аналітичний звіт щодо ведення лісового господарства у Житомирській області за 2024-2025 роки. Київ: ДАЛРУ, 2025. 112 с.
4. Пугач С. В., та ін. Оцінка екосистемних послуг лісів Полісся: вуглецевий аспект. Екологічні науки. 2025. № 2(54). С. 112-118.
5. Мельник В. І. Кліматично-орієнтоване лісівництво в умовах глобальних змін. Журнал екології та менеджменту. 2026. № 4(12). С. 22-29.