

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський авіаційний інститут



ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ

Тези доповідей
XX Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих учених і студентів

16 квітня 2026 року



Київ 2026

УДК 504(043.2)

Екологічна безпека держави: тези доповідей XX Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 16 квітня 2026 р., Київський авіаційний інститут. – К. : KAI, 2026. – 152 с.

Збірник містить тези доповідей учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції з широкого кола питань, пов'язаних із проблемами забезпечення екологічної безпеки держави.

УДК 504(043.2)

Environmental Safety of the State: abstracts of XX Pan-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Kyiv, April 16, 2026, Kyiv Aviation Institute. – K. : KAI, 2026. – 152 p.

The book contains abstracts of Ukrainian Scientific and Practical Conference participants on a wide range of issues related to problems of state environmental safety.

Відповідальний секретар: *М. М. Радомська*, доцент кафедри екології, хімії та хімічної технології

© Київський авіаційний інститут, 2026

ПЕРЕДМОВА

Двадцятирічна історія конференції «Екологічна безпека держави» є свідченням її актуальності, наукової значущості та здатності відповідати на виклики часу. Упродовж двох десятиліть цей науково-комунікаційний майданчик об'єднує представників науки, державного управління, громадянського суспільства та практичної сфери навколо обговорення проблем екологічної безпеки, пошуку ефективних рішень та формування стратегічних підходів до забезпечення сталого розвитку.

За роки проведення конференції суттєво трансформувалися як глобальні, так і національні екологічні пріоритети. Частина проблем залишається незмінно актуальною – забруднення довкілля, раціональне використання природних ресурсів, збереження біорізноманіття, екологізація виробництва та удосконалення системи екологічного управління. Водночас сучасний світ постійно формує нові й часто непередбачувані виклики, що потребують оперативного наукового осмислення та міжсекторальної взаємодії. До них належать наслідки кліматичних змін, техногенні ризики, енергетична та продовольча безпека, екологічні наслідки воєнних дій, питання відновлення територій та підвищення стійкості громад.

У цих умовах екологічна безпека дедалі більше утверджується як одна з ключових складових національної безпеки держави. Саме тому конференція «Екологічна безпека держави» протягом усього періоду свого існування прагне залишатися сучасною платформою для фахового діалогу, швидко реагувати на зміни та охоплювати найбільш актуальні напрями наукових досліджень і практичної діяльності.

Тема ювілейної конференції – «Екологічна безпека держави: стратегічні пріоритети, міжсекторальна взаємодія та сталий розвиток у сучасних умовах» – акцентує увагу на

необхідності комплексного підходу до вирішення екологічних проблем, консолідації зусиль різних секторів суспільства та впровадження ефективних механізмів екологічної політики й управління.

Матеріали, представлені у збірнику, відображають широкий спектр наукових підходів, результатів досліджень та практичних напрацювань, присвячених актуальним аспектам екологічної безпеки. Їх зміст демонструє не лише багатогранність сучасних екологічних викликів, але й прагнення наукової спільноти до пошуку інноваційних рішень, здатних забезпечити збалансований розвиток держави в умовах постійних змін та зростаючих ризиків.

Ювілейний характер конференції є нагодою не лише підбити підсумки пройденого шляху, а й окреслити перспективи подальшого розвитку наукових досліджень і практичної співпраці у сфері екологічної безпеки, що залишається одним із визначальних чинників сталого майбутнього держави та суспільства.

Програма круглого столу

«ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ: СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ, МІЖСЕКТОРАЛЬНА ВЗАЄМОДІЯ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК У СУЧАСНИХ УМОВАХ»

Головуючий – **Лариса ЧЕРНЯК** – в.о. завідувача кафедри екології, хімії та хімічної технології КАІ

Модератор – **Маргарита РАДОМСЬКА** – доцент кафедри екології, хімії та хімічної технології КАІ

ВІДКРИТТЯ КРУГЛОГО СТОЛУ

Ірина ЗАРУБІНСЬКА – проректор з міжнародного розвитку та цивільної авіації КАІ

Анжеліка КОКАРСЬКА – в.о. декана факультету наук про здоров'я
Лариса ЧЕРНЯК – в.о. завідувача кафедри екології, хімії та хімії та хімічної технології КАІ

Олена ПАЩЕНКО – заступник голови Всеукраїнської екологічної ліги

ЗАПРОШЕНІ ДОПОВІДАЧІ

- 1. Тамара ДУДАР**, д.т.н., професор
кафедра екології, хімії та хімічної технології, Факультет наук про здоров'я, НУ «Київський авіаційний інститут»
Присвята до 20-річчя конференції
- 2. Василь ПЕТРУК**, д.т.н., професор
директор НДІ Екологічного проектування та природоохоронних технологій, заслужений природоохоронець України, заслужений природоохоронець України
Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації економіки в контексті післявоєнної відбудови України
- 3. Наталія Внукова**, д.е.н., професор
провідний науковий співробітник НДІ правового забезпечення інноваційного розвитку НАПрНУ
Екологічні злочини щодо відмивання коштів, фінансування тероризму за висновками ФАТФ

- 4. Руслан ГАВРИЛЮК**, к.геол.н., с.н.с., **Владислав БАЛІНСЬКИЙ**
*голова Національного екологічного центру України, заступник
директора Інституту геологічних наук НАНУ та голова
Одеського відокремленого підрозділу Національного екологічного
центру України*
Методи Дистанційного Зондування У Визначенні Шкоди,
Завданої Російською Агресією Азово-Чорноморському басейну
- 5. Аріна ПЕТРОСЯН**, д.біол.н., с.н.с.
*керівник Лабораторії якості повітря ДУ «Інститут
громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАН України»*
Інноваційні підходи до оцінки якості повітря в системі
громадського здоров'я
- 6. Наталія ІВАНОВА**, к.геогр.н.
*науковий співробітник Відділу екологічної гідрології та технічної
гідробіології, Інститут гідробіології НАНУ*
Поширення ціанобактеріальних «цвітінь» у водосховищах і
можливості їх контролю
- 7. Наталія ПОПОВИЧ**, аспірант
*кафедра екології та охорони навколишнього середовища,
Навчально-науковий інститут хімії та екології, Ужгородський
національний університет*
Сорбція іонів амонію природним цеолітом Сокирницького
родовища різних фракцій
- 8. Андрій ПАСЛЬОН**, аспірант
*кафедра екології, хімії та ХТ, Факультет наук про здоров'я, НУ
«Київський авіаційний інститут»*
Енергоефективні технології піролізу вторинної вуглеводневої і
сировини

КОМЕНТАРІ УЧАСНИКІВ КРУГЛОГО СТОЛУ

ЗАКЛЮЧНЕ СЛОВО

Лариса ЧЕРНЯК – в.о. завідувача кафедри екології, хімії та
хімічної технології КАІ, д.т.н., доцент

СЕКЦІЯ 1

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ВІЙСЬКОВО-ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 346.5:349.6

Н. М. Внукова, д.е.н.,
провідний науковий співробітник
НДІ правового забезпечення інноваційного розвитку НАПрНУ, м.Харків

ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ПОТЕНЦІЙНОГО ВІДМИВАННЯ КОШТІВ ВІД ПОРУШЕНЬ У ПРИРОДОЗБЕРЕЖЕННІ

Анотація. Дослідження присвячено розгляду звітів та змін FATF з контролю за потенційними екологічними правопорушеннями в світовій системі фінансового моніторингу. Розглянуто сучасні напрями запровадження ризико-орієнтованого підходу до протидії легалізації злочинних доходів від екологічних злочинів. Визначено динаміку пошукових запитів в Google з 2004 року в Україні на тему екологічних порушень, який є волатильним з виділенням регіональних складових. Створення Зеленої платформи в Україні може сприяти впровадженню заходів з запобігання екологічним порушенням.

Ключові слова: природозбереження, екологічні порушення, фінансовий моніторинг, FATF, пошукові запити, ризико-орієнтований підхід

Актуальність. Відмивання коштів, отриманих від екологічних злочинів, створює додаткове навантаження на екологію через стимулювання подальшого руйнування природи через одержані фінансові ресурси. Початок розробки Зеленої платформи як цифрового каталогу програм фінансування сталого розвитку [1] може потенційно сприяти запобіганню та протидії порушенням в екологічній сфері. Воєнний стан посилює ризики легалізації прибутків від незаконної вирубки лісу, видобутку копалин або торгівлі дикими тваринами, що призводить до втрати біорізноманіття, зникнення видів, обезліснення, яке прискорює зміни клімату. Екологічна безпека полягає у забрудненні та деградації земель, зокрема і внаслідок воєнних дій, але кошти, отримані від незаконного скидання токсичних відходів, потенційно можуть відмиватися через фіктивні компанії з утилізації. У результаті відбувається тривале отруєння ґрунтових вод та родючих земель, що впливає на непридатність територій для життя на довгий період. Наступним колом є фінансування подальших порушень, коли «брудні» гроші часто далі реінвестуються у незаконні сфери через закупівлю важкої техніки для нелегального видобутку, наприклад, піску, розбудову логістичних мереж для контрабанди природних ресурсів. Небезпека додатково полягає в тому, що підривається рух зеленої економіки через приплив «брудних» грошей у сировинні сектори, чим створює недобросовісну конкуренцію легальним підприємствам, які інвестують в екологічні стандарти та очисні споруди. Вони стають менш конкурентоспроможними порівняно зі злочинними структурами, що ігнорують будь-які норми. Екологічна безпека полягає в тому, що відмивання коштів

перетворює екологічні злочини у високоприбуткові, що впливає на суттєве виснаження природних ресурсів.

Виклад. Основними механізмами, які запобігають відмиванню екологічних грошей, є інструменти фінансового моніторингу, що базуються на міжнародних стандартах FATF (Групи з розробки фінансових заходів боротьби з відмиванням грошей) [10], які мають реалізуватися як на первинному рівні фінансового моніторингу, так і на державному через розробку національного нормативного регулювання [3]. Фінансові установи мають звертати увагу на специфічні ознаки екологічних злочинів, наприклад, через великі перекази від компаній, що займаються лісозаготівлею або видобутком копалин, на рахунки фізичних осіб, через невідповідність обсягів операцій ліцензіям підприємства на користування надрами та ін. Отже, мають висуватися нові вимоги до прискорення трансформацій в екологічному праві для запобіганням екологічним порушенням.

У спеціальному звіті FATF (2021) щодо відмивання грошей, отриманих внаслідок екологічних злочинів вимагається від країн криміналізація відмивання грошей, зокрема, за низку екологічних злочинів (Рекомендація FATF 3), а також застосування ризико-орієнтованого підходу до запобігання легалізації доходів (Рекомендація FATF 1) [11]. У цей же період прийнято Рішення Ради національної безпеки та оборони України від 23 березня 2021 року № 111/2021 щодо посилення відповідальності за кримінальні правопорушення проти довкілля, встановлення кримінальної відповідальності за незаконний видобуток корисних копалин місцевого значення та ін. [4].

Нові підходи до фінансового моніторингу, які можна визначити як «зелений» фінансовий моніторинг, полягають в тому, що з 2021 року FATF офіційно визначив екологічні злочини як предикатні (основні) для відмивання коштів. Тепер країни мають включати екологічні ризики до національних оцінок ризиків з фінансового моніторингу. Також запропоновано застосовувати конфіскацію активів, щоб зробити екозлочини економічно не вигідними.

До Глосарію FATF внесено розширене визначення «Environmental crime» (екологічні злочини): злочинний збір, видобуток або торгівля охоронюваними видами дикої фауни та флори, дорогоцінними металами та камінням, іншими природними ресурсами або відходами [8]. У межах програм фінансового моніторингу та виконання ESG показників сталого розвитку фінансові установи, як первинні суб'єкти фінансового моніторингу, використовують спеціальні критерії (red flags), щоб виявити відмивання грошей, отриманих від екологічних злочинів: декларування прибутку від продажу деревини або копалин, який значно перевищує обсяги, дозволені їй державними ліцензіями; експорт сировини здійснюється компанією, яка не має дозволів на видобуток або обробку природних ресурсів; оплата за екологічні ресурси (ліс, руда, рідкісні тварини) надходить від компаній-оболонки (shell companies) із юрисдикцій, де ці ресурси не видобуваються; використання складної логістики, які приховують реальне походження товару, наприклад, рух лісової деревини через офшорні компанії.

Додатковим складним питанням є контроль за діяльністю публічних осіб, які входять до зони високого ризику, де здійснюється посилена належна перевірка ризиків компаній у сфері природокористування, які належать їм або пов'язаним з ними особам. Держфінмоніторинг надає у типологіях такі приклади залученості публічних осіб до екологічних злочинів. Отже, потрібен додатковий контроль за

документами для підтвердження легальності походження продукції та запобігання екологічним правопорушенням.

У 2025–2026 роках FATF продовжує посилювати контроль над екологічними злочинами через практичну імплементацію міжнародних стандартів, та інтеграцію контролю за екологічними ризиками у загальну систему фінансової безпеки через новий п'ятий раунд взаємних оцінок, який запроваджений 2025 року і передбачив, як обов'язковий елемент при оцінюванні країн, аналіз екологічних злочинів при проведенні перевірок з відповідності міжнародним стандартам. Країни зобов'язані довести, що їхні фінансові розвідки (FIU) активно використовують індикатори екозлочинів для аналізу транзакцій.

Зміни, які відбулись 2025 року у міжнародних стандартах FATF з протидії легалізації доходів, одержаних злочинним шляхом, фінансуванню тероризму та розповсюдження зброї масового ураження, додатково стосуються екологічних питань [10]. Зміни стосуються, зокрема, конфіскації активів (Recommendation 4), де передбачена особлива увага механізмам розширеної конфіскації навіть без прямого конкретного доказу, наприклад, браконьєрського акту. У жовтні 2025 року FATF схвалив звіт «Horizon Scan» [9], який розглядає вплив штучного інтелекту (ШІ) на фінансові злочини, зокрема, через виявлення схем, де рекомендовано використовувати ШІ для відстеження аномальних ланцюгів постачання природних ресурсів (наприклад, коли обсяги експорту деревини з регіону перевищують його природні можливості). Також визначено протидію Deepfakes щодо попередження про ризики використання дипфейків для створення підробних екологічних сертифікатів та дозволів на видобуток.

2026 року запланована серія спільних заходів FATF з міжнародними екологічними організаціями Nature Crime Alliance для створення єдиної архітектури протидії екологічним фінансовим злочинам [12]. Мета — об'єднати дані екологічних інспекторів та банківських аналітиків у реальному часі. Екологічні злочини, такі як незаконний видобуток корисних копалин, лісозаготівля, рибальство та торгівля дикими тваринами, продовжують руйнувати екосистеми, підривають засоби до існування, а також підживлюють корупцію та порушення прав людини. Уряди дедалі частіше визнають, що глобальні цілі щодо біорізноманіття та клімату не можуть бути досягнуті без більш ефективної боротьби з цими злочинами. Проте міжнародні заходи реагування залишаються фрагментованими, розподіленими між системами екологічного, кримінального правосуддя та фінансового управління, які часто функціонують ізольовано.

Ці рішення можуть допомогти змістити міжнародну відповідь на екологічні злочини від часткових дій до більш узгодженої та скоординованої архітектури. Спираючись на важливі прориви FATF 2025 року, ці дії охоплюють кримінальне правосуддя, незаконне фінансування, екологічне управління та багатосторонню дипломатію [12].

Найбільш релевантним та детальним прикладом національної оцінки щодо екологічних злочинів є Сінгапур, який у 2024–2025 роках провів масштабне оновлення своєї оцінки з фінансового моніторингу, виділивши екологічні злочини в окремий пріоритет [11]. Сінгапур одним із перших імплементував рекомендації FATF 2021 року у свою національну стратегію протидії відмиванню коштів [11]. З огляду на зростаючу міжнародну увагу до ризику відмивання коштів, що виникає внаслідок екологічних злочинів (таких як незаконна торгівля дикими тваринами та

незаконна вирубка лісу) та для підвищення обізнаності галузі, 29 травня 2024 року було опубліковано окрему тематичну оцінку ризиків відмивання коштів, пов'язаних з екологічними злочинами [7]. У звіті зазначається, що Сінгапур має ці ризики, пов'язані з екологічними злочинами, що виникають через його географічне розташування та позицію як міжнародного фінансового центру, торговельного, транспортного та перевантажувального вузла. Сінгапур вразливий до загроз, що виникають через незаконну торгівлю дикими тваринами, незаконну вирубку лісу та торгівлю відходами, які поширені в Південно-Східній Азії.

Відповідні правоохоронні органи, підрозділи фінансової розвідки, політичні та наглядові органи продовжуватимуть пильно стежити за виявленими ризиками та підвищувати обізнаність приватного сектору про ризики. Фінансові установи та визначені нефінансові підприємства та фахівці (такі як постачальники корпоративних послуг та торговці дорожочінним камінням і металами) також повинні враховувати Національну оцінку ризиків щодо відмивання коштів, пов'язаних з екологічними злочинами [7]. Екологічні злочини руйнують та завдають шкоди довкіллю та екосистемі, маючи далекосяжний та довгостроковий вплив на нинішнє та майбутні покоління. FATF зазначила, що екологічні злочини генерують близько 110–281 мільярда доларів США кримінальних доходів щороку [11], тому важливо, щоб країни жили необхідних заходів для боротьби з екологічними злочинами та відповідними кримінальними доходами.

Національна оцінка ризиків (NRA) щодо екологічних злочинів (Env Crimes ML) Сінгапуру представляє огляд середовища ризиків, слугує керівництвом для застосування ризикоорієнтованого підходу під час розробки та впровадження стратегій, політик та заходів щодо зменшення ризиків у боротьбі із загрозами відмивання коштів та незаконними потоками, пов'язаними з екологічними злочинами. Наприклад, злочинність, до якої належить вирубка лісів, є третьою за прибутковістю в світі. Всесвітні зиски еко-злочинності оцінюються у 110-281 млрд USD на рік, в якій лісова злочинність генерує від 51-152 млрд USD за рік [5].

За законодавством України [3] критеріями ризиків у ст.7, яка присвячена застосуванню ризик-орієнтованого підходу, відзначено, що суб'єкт первинного фінансового моніторингу зобов'язаний у своїй діяльності його застосовувати. Експерти відзначають, що кількість зелених фінансових інструментів для бізнесу та громад зростає – як завдяки міжнародній підтримці, так і через запит з боку самих підприємств [1], що має позитивне вплинути на збільшення зелених інвестицій, але паралельно можуть збільшуватися обсяги відмитих коштів від екологічних злочинів, що потребує поглибленої уваги і додаткових досліджень [2].

Автором виконана оцінка рівня пошукової активності в Google темою «екологічні порушення» українською мовою з 2004 року (на 05 вересня 2025 року) з використанням пошукового он-лайн ресурсу Google Trends [6], який показав, що зацікавленість темою екологічних порушень є волатильною, інтерес почав активно формуватися з березня 2020 року, її пікові складові відзначались у квітні 2022 року. За регіональним розподілом тільки 18 регіонів є статистично значимими, серед яких трійка лідерів – Полтавська, Чернівецька, Івано-Франківська області, що потребує подальшого вивчення і аналізу [2]. Аналогічне питання розглянуто на 10 березня 2026 року, пікове значення відзначено у травні 2025 року, що може бути зумовлене оприлюдненням в цей час масштабних звітів про екологічні збитки, зокрема, від восених дій, та нові кліматичні рекорди. Далі протягом 10 місяців 2025-2026 років

на час аналізу запитів все зійшло нанівець щодо пошукової активності, отже питаннями екологічних порушень за останні 10 місяців зацікавленості у користувачів Google немає. Регіональні лідери майже ті ж самі – Полтавська, Сумська і Івано-Франківська області.

Враховуючи, що екологічна небезпека потенційного відмивання коштів від порушень у природокористуванні накладається на вимоги концепції зеленого переходу, то це пов'язано не тільки із захистом довкілля при відновленні зруйнованого, але і вдосконаленням механізмів запобігання та протидії легалізації доходів, одержаних злочинним щодо екологічних правопорушень.

Висновки. Розглянуті сучасні актуалізовані напрями збільшення вимог FATF до системи фінансового моніторингу щодо екологічних правопорушень, зокрема, щодо їх криміналізації, врахування у національних оцінках країн, при проведенні перевірок щодо виконання міжнародних стандартів показали, що екологічна складова порушень стає у пріоритеті, зокрема, і спільних дій 2026 року з міжнародними екологічними організаціями Nature Crime Alliance для створення єдиної архітектури протидії екологічним фінансовим злочинам у світі.

Додатковим фактором контролю суб'єктами первинного фінансового моніторингу, зокрема, банків за потенційним відмиванням коштів є запровадження ризико-орієнтованого підходу. Наведений окремо створений національний звіт Сінгапуру щодо протидії екологічним злочинам є прикладом для інших країн.

Відзначені тренди щодо пошукової активності користувачів Google показали низьку зацікавленість з певними сплесками при певних подіях. Виділені регіони - лідери в Україні з високим рівнем пошуку теми екологічних порушень, зокрема, постійна Полтавська область, можуть стати не тільки пілотними щодо впровадження в їх громадах програм фінансового моніторингу, але і лідерами зеленого екологічного розвитку.

Список використаної літератури

1. В Україні запускають Зелену платформу – каталог фінансових можливостей для екологічного розвитку URL: <https://rubryka.com/2025/05/21/v-ukrayini-zapuskayut-zelenu-platformu-katalog-finansovyh-mozhlyvostej-dlya-ekologichnogo-rozvytku/>

2. Внукова, Н. М. Оцінка ризиків потенційного відмивання коштів від екологічних порушень *Актуальні проблеми економіко-правового регулювання екологічних відносин в сучасних умовах* : зб. наук. пр. за матеріалами круглого столу, м. Харків, 18 верес. 2025 р. ; Інновації та сталий розвиток у економіко-правових дослідженнях та стратегія їх реалізації : зб. наук. пр. панельної дискусії, 23 верес. 2025 р. в рамках ІХ Харків. Міжнар. юрид. форуму / за ред. С. В. Глібка, В. Л. Бредіхіної ; НДІ ПЗІР НАПрН України. – Харків : НДІ ПЗІР НАПрН України, 2025. – С. 15–26. URL : <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/26578>

3. Про запобігання та протидію легалізації (відмиванню) доходів, одержаних злочин шляхом, фінансуванню тероризму та фінансуванню розповсюдження зброї масового знищення: Закон України (зі змінами) № 361-ІХ (2019). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/361-20#Text>

4. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації». Указ

Президента України від 23 березня 2021 р. № 111/2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/111/2021#Text>

5. «Лісова злочинність». Протидію нелегальній вирубці лісів в Україні обговорили за участю «Інтерполу». URL: <https://bit.ly/3Ti0Fwa>

6. Як користуватися сервісом Google Trends? URL: <https://seomarket.ua/blog/iak-korystuvatysia-servisom-google-trends/>

7. Environmental Crimes Money Laundering National Risk Assessment MAY 2024. 29 p. URL: <https://www.mas.gov.sg/-/media/mas-media-library/publications/monographs-or-information-paper/amld/2024/env-crimes-ml-nra---final-for-publication.pdf>

8. FATF Glossary URL: <https://www.fatf-gafi.org/en/pages/fatf-glossary.html#accordion-a13085a728-item-121a8a2b0f>

9. Horizon Scan AI and Deepfakes URL: <https://www.fatf-gafi.org/en/publications/Methodsandtrends/horizon-scan-ai-deepfake.html>

10. Money Laundering National Risk Assessment Toolkit – Annexes A-C. August 2025. 72 p.

11. Money Laundering from Environmental Crime FATF REPORT July 2021. 70 p. URL: <https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/reports/Money-Laundering-from-Environmental-Crime.pdf>

12. Money Laundering National Risk Assessment REPORT SINGAPORE 2024 126 p.

13. Perrat E. Building Momentum On Environmental Crime: Why 2026 Matters

ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Анотація. *Розглянуто основні негативні чинники впливу на навколишнє природне середовище ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».*

Ключові слова: металургійне виробництво, навколишнє природне середовище, атмосферне повітря, забруднювальні речовини.

В даний час забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів і ґрунтів стає глобальною екологічною проблемою [1]. Однією з основних причин забруднення компонентів довкілля є активна виробнича діяльність. Наприклад, друге місце за кількістю викидів в атмосферне повітря серед усіх галузей промисловості посідає металургійне виробництво. За статистичними даними підприємства металургії здійснюють близько 20 % від загальної кількості викидів у атмосферу шкідливих речовин, а поблизу від великих металургійних заводів цей відсоток зростає до 50. З вентиляційних, аспіраційних і димових систем таких підприємств в навколишнє природне середовище викидаються аерозолі та гази, що містять такі токсичні компоненти як оксид вуглецю, оксид сірки і оксиди нітрогену [2].

Згідно з даними Дніпропетровської військової адміністрації [3] у 2024 році загальні викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря у регіоні склали 392,1 тис. тон. Серед «десятки лідерів» підприємств-забруднювачів такі металургійні підприємства:

- ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» – 78863,8 т/рік;
- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – 65594 т/рік;
- ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» – 898,808 т/рік.

ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» – металургійне підприємство повного циклу, яке розташоване у м. Кам'янському Дніпропетровської області [4], входить до складу ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ». Металургійний комбінат здійснює виробництво безперервно литої заготовки, фасонного і сортового прокату, зокрема, арматури, катанки, шарів і профілів. ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є єдиним у світі виробником катаної осевої заготовки. Попутною і коксохімічною продукцією цього суб'єкта господарювання є: доменний шлак; кокс доменний, горішок коксовий, дрібняк коксовий; гази і газові суміші: кисень, рідкий аргон, неон-гелієва суміш; продукти переробки смоли: пек кам'яновугільний, лак кам'яновугільний, масла кам'яновугільні, феноляти марки «А»; хімічна продукція: кам'яновугільна смола, сульфат амонію, бензол сірий кам'яновугільний.

Як будь-яке металургійне підприємство, ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» здійснює потужний негативний вплив на стан атмосферного повітря в м. Кам'янське. Так, за даними Дніпропетровського регіонального центру з гідрометеорології [5], у 2024 році концентрація забруднювальних речовин у повітрі цього населеного пункту складала: пилу – від 0,6 до 2,7 ГДК, діоксиду азоту – від 2,0 до 3,5 ГДК, фенолу – від 1,3 до 2,0 ГДК, формальдегіду – від 2,7 до 5,3 ГДК, аміаку – від 1,0 до 1,3 ГДК,

оксиду азоту – від 0,7 до 1,5 ГДК, діоксиду сірки – від 0,1 до 0,2 ГДК, оксиду вуглецю – від 1,0 до 1,3 ГДК.

Крім шкідливих викидів в атмосферне повітря, металургійні виробництва здійснюють потужний вплив на об'єкти гідросфери. Металургійні підприємства є потужними споживачами води, а також «лідерами» за обсягами скидання стічних вод у поверхневі водні об'єкти. Так, ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» у 2024 році [3] скинуло у річку Дніпро 61115,4 тис. м³ зворотних вод.

Ще одним аспектом впливу підприємства на навколишнє природне середовище є утворення значної кількості відходів. За 2024 рік на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» утворилося 281356,2 т відходів від перероблення шлаку [5]. Також у переліку відходів підприємства: відходи випалу і гашення вапна, моторні, індустриальні та мастильні оливи, пластмасова упаковка, абсорбенти, тощо.

Отже, металургійне підприємство ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» здійснює значний негативний вплив на стан довкілля Дніпропетровської області. Враховуючи вказане, екологічна політика металургійного комбінату [4] спрямована на модернізацію виробництва, зменшення кількості викидів, а також на перехід на «зелену» металургію відповідно до стандартів Європейського Союзу.

Список використаної літератури

1. Екологічні глобальні проблеми. Енциклопедія сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-18692> (дата звернення 21.03.2026 р.)
2. Накемпій О. К. Оцінка впливу металургійної промисловості на стан атмосферного повітря та шляхи його зменшення. Проблеми охорони праці в Україні. 2023. Вип. 39 (1–2). С. 87–93.
3. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2024 рік. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/Pro%20oblast/Ekolohiia/Rehionalna%20dopovid%20ta%20Ekolohichni%20pasport/ekologiya%20pasport/2024/%20паспорт%20Дніпропетровської%20області%20за%202024%20рік.pdf> (дата звернення 21.03.2026 р.)
4. ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». URL: <https://ks.metinvestholding.com/> (дата звернення 21.03.2026 р.)
5. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Дніпропетровській області у 2024 році. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/Pro%20oblast/Ekolohiia/Rehionalna%20dopovid%20ta%20Ekolohichni%20pasport/Rehionalna%20dopovid%20pro%20stan%20navkolyshnoho%20pryrodnogo%20seredovyscha%20v%20Dnipr.obl./2024/%20про%20стан%20навколишнього%20природного%20середовища%20у%20Дніпропетровської%20області%20за%202024%20рік.pdf> (дата звернення 22.03.2026 р.)

Науковий керівник В. Л. Клевська, ст. викладач

О. Ю. Грама, студентка,
Ю. С. Кондрашева, студентка,
Н. І. Калюжна, студентка,
А. А. Явнюк, к.б.н., доц.

Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

СТРАТЕГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ, ПОСТРАЖДАЛИХ ВІД ТЕХНОГЕННИХ КАТАСТРОФ

Анотація. У роботі обґрунтовано стратегію екологічної реабілітації ландшафтів, порушених внаслідок техногенних та воєнних впливів. Доведено пріоритетність екосистемного підходу та методів фітореMediaції для відновлення біологічної функціональності територій. Визначено ключові етапи деконтамінації, гідрологічної ревіталізації та ГІС-моніторингу постраждалих регіонів. Сформульовано принципи сталого відновлення на засадах екологічного імперативу.

Ключові слова: екологічна реабілітація, ремедіація, фітореMediaція, ГІС-технології, сталий розвиток.

Актуальність проблеми. Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується зростанням частоти та масштабів техногенних катастроф, таких як аварії на підприємствах хімічної промисловості, руйнування гідротехнічних споруд та наслідки воєнних дій. Це зумовлює необхідність переходу від реактивного подолання наслідків до стратегічного планування екологічної реабілітації (ремедіації) ландшафтів.

Аналіз останніх досліджень. Питання відновлення порушених екосистем розглядалися у працях таких вчених, як О. Бондар [1], який акцентує увагу на системному моніторингу та М. Клименко [2], чий дослідження присвячені методам фітореMediaції. Міжнародний досвід, описаний, наприклад, у працях R. Cunningham [3], вказує на пріоритетність екосистемного підходу (Nature-based Solutions), що дозволяє не просто «очистити» територію, а відновити її біологічну функціональність та здатність до саморегуляції.

Процес екологічної реабілітації територій є багатовекторною діяльністю, що спрямована не лише на вилучення токсичних речовин, а й на регенерацію структурно-функціональних зв'язків усередині біогеоценозів. Алгоритм відновлення порушених ландшафтів передбачає чітку ієрархію дій: від первинної локалізації осередку забруднення та інженерної підготовки ділянки до впровадження активних методів ремедіації (фізико-хімічних або біологічних) і подальшої реінтродукції аборигенних видів. Така послідовність забезпечує поступовий перехід екосистеми від стану антропогенного регресу до стадії сталого автохтонного розвитку. Відтак, успішна реабілітація базується на інтеграції технологічних рішень у природні цикли, що дозволяє мінімізувати вторинний вплив на довкілля під час проведення відновлювальних робіт.

Ключові стратегічні напрями реабілітації:

1. Диференційована деконтамінація. Вибір методів очищення ґрунтів та вод має базуватися на специфіці забруднювача. Для територій із важкими металами та

радіонуклідами найбільш перспективною є фітоекстракція – використання рослин-гіперакумуляторів для вилучення токсикантів.

2. Гідрологічна ревіталізація. У разі руйнування гідротехнічних споруд (як у випадку катастрофи на Каховській ГЕС) стратегія має включати відновлення природного стоку та самоочисного потенціалу річкових систем, а не лише механічне відновлення дамб.

3. Екомережвий підхід. Реабілітація не повинна обмежуватися локальною прямою забруднення. Необхідно інтегрувати відновлені території у регіональну екомережу, створюючи буферні зони та екологічні коридори для міграції видів.

Після визначення стратегічних напрямів необхідно інтегрувати блок інноваційних інструментів та етапність впровадження. Зокрема, впровадження цифрових технологій моніторингу на основі ГС-систем та дистанційного зондування для створення «цифрових двійників» постраждалих територій, що забезпечує точне моделювання сценаріїв відновлення у часі. Важливо дотримуватися чіткої послідовності етапів: від початкової діагностики та картування джерел забруднення до активної ремедіації та тривалого пост-реабілітаційного супроводу. Такий підхід, підкріплений економіко-правовим механізмом «забруднювач платить» та гармонізацією з міжнародними стандартами, гарантує відновлення ключових екосистемних функцій території.

Висновки. Ефективна стратегія екологічної реабілітації територій повинна ґрунтуватися на принципі екологічного імперативу: пріоритетності відновлення життєзабезпечувальних функцій біосфери над короткостроковими економічними вигодами. Використання інноваційних біотехнологій у поєднанні з жорстким державним моніторингом є єдиним шляхом до сталого відновлення постраждалих регіонів.

Список використаної літератури:

1. Бондар О. І. Екологічна безпека та реабілітація територій: теорія та практика. К.: Центр екологічної освіти, 2022.
2. Клименко М. О., Прищепя А. М. Моніторинг довкілля: підручник. К.: Академія, 2021.
3. Cunningham R. S. Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Discipline. Island Press, 2020.

УПРАВЛІНСЬКІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В КОНТЕКСТІ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Анотація. *Обґрунтовано актуальність екологізації управління промисловими підприємствами в умовах посилення екологічних вимог і цифрової трансформації. Показано доцільність інтеграції екологічних цілей у стратегічне й операційне управління. Визначено роль цифрових інструментів моніторингу, аналітики та оцінювання у підвищенні екологічної результативності, зниженні ризиків і переході до превентивної моделі екологічного менеджменту.*

Ключові слова: екологізація промислових підприємств, екологічна безпека, управлінські технології, цифрова трансформація, екологічні ризики, екологічний менеджмент, сталий розвиток.

Екологізацію промислових підприємств у сучасних умовах доцільно розглядати не лише як сукупність природоохоронних заходів, а як цілісну систему управлінських рішень, спрямованих на зниження негативного впливу виробництва на довкілля, раціональне використання ресурсів і підвищення рівня екологічної безпеки. Традиційний підхід, що ґрунтується переважно на реагуванні на порушення та виконанні нормативних вимог, є недостатнім, оскільки не забезпечує превентивного управління екологічними ризиками та своєчасного врахування екологічних чинників у процесі прийняття управлінських рішень. У цьому контексті цифрова трансформація розширює можливості екологічного менеджменту завдяки моніторингу, аналітичній обробці даних та прогнозуванню ризиків [1].

Управлінські технології екологізації промислових підприємств передбачають інтеграцію екологічних цілей у стратегічне, операційне та функціональне управління. На стратегічному рівні це проявляється у формуванні екологічної політики підприємства, визначенні пріоритетів сталого розвитку, включенні екологічних критеріїв до системи корпоративних цілей і планів модернізації виробництва [2]. На операційному рівні важливими є регламентація екологічно значущих процесів, контроль ресурсоспоживання, управління відходами, мінімізація викидів і скидів, а також організація внутрішнього екологічного контролю та аудиту. Такий підхід сприяє переходу від формального дотримання вимог до системного підвищення екологічної результативності підприємства.

Зміст управлінських технологій екологізації в умовах цифрової трансформації доцільно подати через взаємозв'язок управлінських дій, цифрових інструментів підтримки та очікуваних екологічних результатів (табл. 1).

Таблиця 1

Управлінські технології екологізації промислового підприємства в умовах цифрової трансформації

Група управлінських технологій	Зміст	Цифрові інструменти підтримки	Очікуваний екологічний ефект
Стратегічні	Формування екологічної політики, інтеграція цілей сталого розвитку, планування екологічної модернізації	ESG-модулі обліку та звітності, цифрові панелі ключових показників, системи підтримки прийняття рішень	Узгодження екологічних і виробничих цілей, підвищення керованості екологічних аспектів
Організаційно-процесні	Регламентація процесів, внутрішній екологічний контроль, аудит, управління відходами	Електронний документообіг, системи керування робочими процесами, електронні чек-листи, бази даних	Зниження порушень, підвищення дисципліни виконання екологічних процедур
Моніторингово-аналітичні	Контроль викидів, скидів, ресурсоспоживання, виявлення відхилень, аналіз ризиків	ІоТ-датчики, системи моніторингу, системи бізнес-аналітики, цифрові панелі	Оперативне виявлення відхилень, зменшення екологічних ризиків, перехід до превентивного управління
Економіко-управлінські	Оцінка коефективності заходів, пріоритизація інвестицій, контроль витрат на природоохоронні заходи	Аналітичні модулі облікових систем, моделі оцінювання витрат і доходів	Підвищення ефективності природоохоронних рішень, оптимізація використання ресурсів
Ризик-орієнтовані	Ідентифікація екологічних ризиків, реагування на інциденти, запобіжні дії	Цифрові реєстри ризиків, системи сповіщення, прогнозна аналітика	Зменшення ймовірності аварійних ситуацій та екологічних втрат

Узагальнення, наведене в табл. 1, показує, що цифрова трансформація не замінює управлінські технології екологізації, а розширює їх функціональні можливості за рахунок оперативного збору даних, аналітичної підтримки та підвищення якості управлінських рішень. На стратегічному рівні важливим є використання ESG-модулів обліку та звітності, що дають змогу систематизувати інформацію про екологічні, соціальні та управлінські аспекти діяльності підприємства та посилювати прозорість оцінювання результативності. Найбільший

ефект формується при поєднанні моніторингово-аналітичних і ризик-орієнтованих підходів, що створює передумови для переходу від реагування на наслідки до своєчасного попередження екологічних загроз. Використання автоматизованих систем збору даних, цифрового моніторингу технологічних параметрів, датчиків контролю викидів, енергоспоживання та утворення відходів забезпечує отримання актуальної інформації про стан виробничих процесів і екологічні аспекти діяльності підприємства [3]. На основі аналітичної обробки таких даних керівництво може оперативно виявляти відхилення, оцінювати екологічні ризики, визначати пріоритетні напрями природоохоронних заходів і приймати більш ефективні управлінські рішення. У підсумку цифрові інструменти сприяють підвищенню результативності екологічного менеджменту та формуванню превентивної моделі управління.

Важливим елементом управлінських технологій екологізації є впровадження системи показників оцінювання екологічної результативності, що дає змогу поєднати екологічні та економічні аспекти управління. Використання відповідних індикаторів (ресурсоемності, енергоефективності, обсягів утворення відходів, рівня викидів, витрат на природоохоронні заходи тощо) забезпечує можливість порівняння результатів, контролю динаміки змін і оцінки ефективності впроваджених рішень. Це створює підґрунтя для підвищення прозорості управління, посилення відповідальності структурних підрозділів і формування культури екологічно відповідального підприємництва.

Таким чином, управлінські технології екологізації промислових підприємств у поєднанні з можливостями цифрової трансформації забезпечують перехід до більш адаптивної, аналітично обґрунтованої та превентивної моделі управління. Їх впровадження сприяє зменшенню техногенного навантаження, підвищенню екологічної безпеки виробництва, зміцненню стійкості підприємств та узгодженню їх розвитку з принципами сталого розвитку.

Список використаної літератури

1. Цифрові трансформації для забезпечення еколого-економічного розвитку та цивільного захисту : монографія / В. І. Вороненко та ін. ; за заг. ред. О. В. Кубатка, В. І. Вороненка. Суми : СумДУ, 2025. 195 с.
2. Красностанова Н. Е., Комаровський І. В. Теоретичні та практичні питання застосування інструментів менеджменту для забезпечення сталого розвитку організації. *Економіка, управління та адміністрування*. 2025. № 4(114). С. 39–46.
3. Фінін Г. С., Шевченко Р. Ю. Сучасні цифрові технології супутникового моніторингу та електронний геокартоінформаційний інструментарій доступу до екологічної інформації. *Екологічні науки*. 2022. № 1(40). С. 38–45.

REMOVAL OF WEIGHED FRACTIONS FROM GAS EMISSIONS IN JET-BUBBLE CONTACTORS

Summary. *The production of dry milk products involves energy-intensive drying units where fine particles (0-30 μm) are often lost through exhaust air. While primary purification via cyclone banks achieves an efficiency of 95-97.7%, actual product losses can exceed 1% of the dryer's capacity, especially in older systems. Given that fine particles under 5 μm are prone to escaping these systems, there is a clear economic and environmental imperative to implement a second stage of purification. The analysis of experimental data reveals that the efficiency of capturing dry milk from the air stream is at least 99%.*

Keywords: process intensification, scrubber, contact devices, gas purification, jet-bubble contactor, dust removal efficiency, wet gas cleaning, active hydrodynamic mode

In the milk industry, the production of dry milk products involves energy-intensive drying units where fine particles ranging from 0 to 30 μm are frequently lost through exhaust air. Given that fine particles under 5 μm are specifically prone to escaping these primary systems, there is a clear economic and environmental imperative to implement a second stage of purification [1]. Reducing these dust levels helps improve working conditions, boosts productivity, and leads to higher product quality by minimizing the loss of finished materials into the atmosphere [2].

This study evaluates the use of a scrubber equipped with jet-bubble contact devices operating in an active hydrodynamic bubbling mode as a high-efficiency secondary purification stage. Experimental research was conducted using a laboratory test bench modified with a vibrating feeder and an electromagnet to ensure uniform product dosing while preventing caking. The study identified two distinct purification zones within the apparatus: a coarse zone in the initial sections and a fine zone within the foam layer under intense bubbling conditions. The analysis of experimental data reveals that the efficiency of capturing dry milk from the air stream using this method is at least 99%. Minor efficiency losses were only observed at the maximum operating loads of the gas blower, confirming the stability of the jet-bubble mechanism. Based on these results, an industrial exhaust air purification scheme was proposed, integrating the scrubber immediately after the primary cyclone stage.

To manage hydraulic resistance and pressure losses, the proposed diagram includes four parallel cyclones instead of two to maintain optimal airflow dynamics. In this configuration, the captured milk-water mixture is processed through a foam separator and milk filter before being redirected to vacuum evaporators for further processing.

The implementation of a second stage of purification is highly feasible, allowing for the recovery of 18 to 30 tons of additional dry milk annually for a standard 500 kg/h drying unit. By returning this captured material to the production cycle, enterprises can significantly reduce the loss of valuable finished products and increase overall

profitability. Reducing dry milk emissions minimizes environmental damage and ensures compliance with modern sanitary and hygienic standards at the production site.

The proposed system is designed for integration into existing industrial dryers with minimal disruption, providing a scalable solution for the dairy canning industry.

A study was conducted in a scrubber equipped with jet-bubble contact devices to evaluate the efficiency of water in capturing dry milk from an air stream. High performance is attributed to the presence of two distinct purification zones: a coarse zone in the initial sections and a fine zone within the intense foam layer, which effectively captures ultra-fine particles under 5 μm that typically bypass conventional cyclone systems. The implementation of a second stage of purification is highly feasible from an economic standpoint, as it allows for the recovery of tons of additional dry milk per year for a standard unit. By returning this captured material to the production cycle via vacuum evaporators, enterprises can significantly reduce the loss of valuable finished products. Reducing dry milk emissions into the atmosphere minimizes environmental damage and significantly improves sanitary and hygienic conditions at the production site. This dual benefit ensures compliance with environmental standards while fostering a safer and more productive working environment for personnel.

Recommendations have been developed for the industrial use of jet-bubble contact devices in scrubber units for the purification of dust-laden gas emissions. The proposed system is designed to be integrated into existing industrial dryers with minimal disruption. By utilizing a modified cyclone arrangement to compensate for hydraulic resistance, the scrubber unit can be installed as a highly effective secondary stage without compromising the overall airflow dynamics of the drying plant.

References

1. Makarov, A., et al. (2025). Improvement of technological processes for the operation of bag filters for spraying drying installations. *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.54.94-121>
2. Raitsky, G., & Drobyazgo, Y. (2024). Design of scrubber for sedimentation and dissolution of milk dust. *Material and Mechanical Engineering Technology*. https://doi.org/10.52209/2706-977x_2024_1_29
3. Atkins, M., et al. (2011). Integrating heat recovery from milk powder spray dryer exhausts in the dairy industry. *Applied Thermal Engineering*, 31, 2101–2106. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.006>
4. Nie, W., et al. (2022). Comparative study of dust pollution and air quality of tunnelling anchor integrated machine working face with different ventilation. *Tunnelling and Underground Space Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104377>

Науковий керівник – С. В. Маноїло, к.т.н., проф.

ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ РИЗИКІВ СТІЙКОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ КІБЕРЗАГРОЗ

Анотація. У роботі розглянуто взаємозв'язок між кіберстійкістю об'єктів енергетики та транспорту та рівнем екологічної безпеки. Проаналізовано ризики виникнення техногенних аварій внаслідок кібератак на автоматизовані системи керування.

Ключові слова: Критична інфраструктура, кіберстійкість, техногенно-екологічні ризики, АСУ ТП, енергетична безпека.

Вступ. Сучасна критична інфраструктура (КІ) України, зокрема енергетичний та транспортний сектори, перебуває у стані цифрової трансформації. Впровадження систем складного моніторингу та АСУ ТП (SCADA) підвищує ефективність управління, але водночас створює нові вектори вразливості. В умовах гібридної агресії кіберзагрози перестали бути лише проблемою ІТ-сектору, перетворившись на реальний фактор екологічної небезпеки.

Постановка проблеми. Специфіка об'єктів енергетики та транспорту полягає у їхній високій потенційній небезпеці для довкілля. Кібератака, спрямована на зміну алгоритмів роботи систем охолодження на АЕС, тиску в нафтогазопроводах або систем диспетчеризації небезпечних вантажів на залізниці, може спровокувати викиди токсичних речовин, пожежі або розливи палива. Таким чином, аналіз кіберризиків є невід'ємною частиною оцінки екологічної стійкості держави.

Аналіз останніх подій та загроз. Досвід атак на енергосистему України (наприклад, BlackEnergy) продемонстрував можливість дистанційного відключення підстанцій. Проте найбільш критичними з точки зору екології є атаки типу *Stuxnet* або *Triton*, що втручаються в роботу систем протинаварійного захисту (SIS). У транспортній галузі вразливість систем керування рухом суден чи потягів із хімічними речовинами створює ризики масштабного забруднення акваторій та ґрунтів.

Методологія оцінки ризиків. Для аналізу стійкості КІ пропонується комплексний підхід, що базується на моделі **NIST Cybersecurity Framework** з інтеграцією параметрів екологічної шкоди:

1. **Ідентифікація активів:** Визначення критичних вузлів, вихід з ладу яких спричинить екологічне лихо.
2. **Моделювання загроз:** Аналіз ймовірності злому через вразливості нульового дня (0-day) або соціальну інженерію.
3. **Оцінка наслідків:** Розрахунок потенційного обсягу викидів шкідливих речовин та вартості рекультивациі територій у разі успішної кібератаки.

Результати дослідження. Аналіз показує, що стійкість КІ залежить не лише від наявності фаєрволів, а й від здатності системи підтримувати безпечний стан (fail-safe) навіть при втраті цифрового управління. Ключовим ризиком визнано каскадний ефект: кібератака на електромережу призводить до зупинки очисних

споруд або систем вентиляції на хімічних підприємствах, що спричиняє вторинну екологічну шкоду.

Висновки. Кібербезпека об'єктів енергетики та транспорту має розглядатись як базовий елемент екологічної безпеки країни. . Необхідно впроваджувати концепцію «Security by Design», де екологічні ризики враховуються ще на етапі проектування цифрових систем управління. Стійкість критичної інфраструктури в умовах кіберзагроз вимагає створення ізольованих резервних контурів управління та регулярного стрес-тестування персоналу на випадок техногенних інцидентів, спричинених втручанням у мережу.

ВПЛИВ ОБМЕЖЕНОГО ВНУТРІШНЬОГО РИНКУ НА РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКУ

Анотація. У тезах досліджено вплив обмеженого внутрішнього ринку на розвиток технологій переробки пластикових відходів. Проаналізовано ключові логістичні та економічні бар'єри, що виникають у країнах із невеликим попитом на вторинну сировину. Окрему увагу приділено досвіду Ісландії як прикладу ефективної адаптації до ринкових обмежень.

Ключові слова: переробка пластику, внутрішній ринок, логістика, циркулярна економіка, Ісландія.

Актуальність проблеми. Проблема накопичення пластикових відходів є однією з найактуальніших екологічних загроз сучасності. Ефективна переробка пластику залежить не лише від технологічного рівня, але й від особливостей функціонування ринку вторинної сировини. В умовах обмеженого внутрішнього ринку, що характерно для малих економік або країн із низьким попитом на перероблені матеріали, виникають суттєві труднощі у розвитку відповідної інфраструктури та технологій.

Метою роботи є аналіз впливу обмеженого внутрішнього ринку на розвиток технологій переробки пластику та визначення ефективних підходів до подолання пов'язаних із цим логістичних і економічних викликів.

Обмежений внутрішній ринок характеризується низьким попитом на продукцію з вторинної сировини, що знижує економічну доцільність розвитку переробних підприємств. У таких умовах підприємства стикаються з проблемами недостатнього обсягу відходів для ефективного завантаження потужностей, високими логістичними витратами та обмеженими каналами збуту. У ході дослідження встановлено, що ключовими факторами впливу обмеженого ринку на розвиток технологій переробки пластику є:

- обсяги утворення пластикових відходів;
- рівень розвитку логістичної інфраструктури;
- попит на вторинну сировину;
- транспортні витрати та географічні особливості.

Визначено, що в умовах малих економік логістичні витрати можуть перевищувати економічний ефект від переробки, збщо стримує впровадження сучасних технологій та інвестиційну активність у галузі.

Досвід Ісландії демонструє ефективні підходи до вирішення зазначених проблем. Через обмежений внутрішній ринок та географічну ізольованість країна активно використовує модель експорту відсортованих пластикових відходів для подальшої переробки за кордоном. Водночас впроваджуються інноваційні рішення, такі як автоматизовані системи сортування та цифрові платформи для управління потоками відходів. Розвиток технологій у таких умовах орієнтується на гнучкість,

зокрема шляхом використання модульних переробних установок та інноваційних методів переробки, що забезпечують підвищення доданої вартості продукції. Крім того, важливу роль відіграє державна політика, спрямована на підтримку циркулярної економіки. Впровадження депозитних систем, стимулювання повторного використання матеріалів та підвищення екологічної свідомості населення сприяють формуванню стабільного потоку сировини для переробки навіть в умовах обмеженого ринку.

На основі проведеного аналізу запропоновано такі напрями підвищення ефективності переробки пластику в умовах обмеженого внутрішнього ринку:

- впровадження децентралізованих та модульних переробних потужностей;
- розвиток системи експорту вторинної сировини на міжнародні ринки;
- використання цифрових технологій для оптимізації логістичних процесів;
- стимулювання попиту на продукцію з переробленого пластику через державні механізми;
- адаптація елементів досвіду Ісландії до національних умов.

Висновки. Таким чином, обмежений внутрішній ринок суттєво впливає на розвиток технологій переробки пластику, створюючи як бар'єри, так і стимули для інновацій. Основними проблемами є економічна нерентабельність, логістичні витрати та обмежені можливості збуту. Водночас такі умови сприяють впровадженню нових технологічних і організаційних рішень. Досвід Ісландії свідчить про ефективність поєднання експорту відходів, інноваційних технологій та державної підтримки. Для України доцільним є адаптація подібних підходів із урахуванням національних особливостей, що дозволить підвищити ефективність системи переробки пластикових відходів і сприятиме сталому розвитку.

Список використаної літератури

1. Ellen MacArthur Foundation. The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. 2016.
2. European Commission. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Brussels, 2018
3. Icelandic Environment Agency. Waste Management in Iceland: National Plan and Policy Framework. Reykjavik, 2021.
4. OECD. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. Paris: OECD Publishing, 2022.
5. World Bank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank, 2018.

Науковий керівник - Б. Д. Халмурадов, к.мед.н., проф.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ОПТОВОЛОКОННИХ БПЛА

Анотація. У роботі проаналізовано проблему забруднення довкілля оптичним волокном, яке активно використовується для забезпечення комунікації з БПЛА. Показано, що накопичення волокна на рослинах прямо впливає на їх ріст та становить небезпеку для тварин. Одночасно з прямим механічним впливом оптоволоконно створює хімічне забруднення через утворення мікропластику та виділення оксиду германію під час деградації.

Ключові слова: оптоволоконно, мікропластик, забруднення довкілля, забруднення ґрунтів, вплив на біоту.

Оптоволоконно або оптичне волокно являє собою гнучку нитку, зроблену зі скла кварцового типу, високої чистоти або з полімерів. Волокно забезпечує передачу інформацію у вигляді світлових імпульсів. Структура вміщує центральну серцевину та зовнішній оптичний шар, що має нижчий коефіцієнт заломлення, завдяки чому реалізується явище повного внутрішнього відбиття. Серцевину формують із діоксиду кремнію, до якого додають легуючі елементи, наприклад, германію оксид; цей елемент варіюється за діаметром від 8–10 мікрметрів для одномодових систем до 50–62,5 мкм для багатомодових; при цьому типовий зовнішній діаметр оболонки дорівнює 125 мкм. Незважаючи на свою гнучкість, матеріалу властивий підвищена ламкість.

Під час повномасштабного вторгнення оптоволоконно використовується для швидкої передачі інформації з дронів на пульт, яким керують оператори. Використовують волокно з метою створення швидкісної комунікації між безпілотними апаратами та апаратами дистанційного керування, що забезпечує нечутливість до систем радіоелектронного придушення.

Під час використання в польових умовах часто волокно чіпляється на рослини, руйнується та його фрагменти потрапляють у ґрунт та водойми. Видалення оптоволоконна є складною задачею за рахунок сили заплутування волокон та не є пріоритетним в умовах війни.

Руйнування та розрив оптичного волокна спричиняють вивільнення у довкілля мікрочастинок кварцового скла та полімерних сполук (мікропластику), які мають здатність до накопичення в ґрунтах і водних об'єктах. Завдяки невеликій масі ці фрагменти переносяться повітряними масами й інтегруються в трофічні ланцюги, проникаючи у тканини рослин та дихальні шляхи живих організмів. Фізичне пошкодження кабельних ліній на відкритій місцевості викликає утворення безладних мереж із синтетичних ниток, які механічно стримують ріст флори та формують пастки для представників орнітофауни й малих наземних хребетних. Тварини, потрапляючи в такі полімерні структури, мають ризик травмування або загибелі через подальше заплутування під час спроб звільнення. Хімічна стійкість скла у поєднанні з тривалим періодом розпаду пластикових оболонок зумовлює

довготривалий техногенний вплив на екосистеми, спричиняючи механічне засмічення середовища та біоаккумуляцію мікрочастинок у внутрішніх органах біоти.

За офіційними даними використання оптоволоконних БПЛА зафіксовано на усіх ділянках активного ведення бойових дій. Враховуючи стандартну вагу котушки такого кабелю (100 г на 1 км волокна), щільність засмічення оптоволоконном на деяких ділянках досягає до кілограма на км². Особливу небезпеку ці штучні нитки становлять для птахів під час гніздування, про що свідчать численні повідомлення у соцмережах. Хоча є і повідомлення про те, що даний матеріал птахи використовують для будівництва гнізд.

Механічне пошкодження, вплив ультрафіолету, вологи та кислотних дощів зменшує життя оптоволоконна у довікллі з гарантованих виробником 20-30 років до орієнтовно 5-9. Ці дані є орієнтовними через те, що масове забруднення довкілля цим матеріалом почалось з весни 2024 року.

Також конкретні наслідки впливу цього виду забруднення суттєво залежить від локалізації: намотане на дерева волокно триматиметься досить довго, а на трав'янистий покрив у полях з настанням зими опуститься до рівня ґрунту і зазнаватиме більш інтенсивного впливу чинників довкілля. Внаслідок руйнування волокна крім оксидів кремнію, який є нейтральним для довкілля, виділяється германій. Діоксид германію має низьку токсичність, але у вищих дозах він проявляє нефротоксичний. Накопичення біологічно ефективних доз германію за цих умов є малоймовірним, але у випадку затяжної війни проблема буде наростати. Додаткове занепокоєння викликає здатність германію вбудовуватись в організм замість кремнію, що призводить до незворотних змін у функціонуванні мікроорганізмів, перш за все діатомових водоростей.

Таким чином, забруднення довкілля оптичним волокном є новим серйозним викликом і потребує ретельного дослідження для оцінки екологічних ризиків та пошуку шляхів мінімізації негативних наслідків.

Список використаної літератури

1. Hodzic, M. (2020). Aging and Degradation of Optical Fiber Parameters in a 16-Year-Long Period of Usage. *Fiber and Integrated Optics*.
2. Ćubrić, I. S., Ćubrić, G., Katić Križmančić, I., & Kovačević, M. (2022). Evaluation of changes in polymer material properties due to aging in different environments. *Polymers*, 14(9), 1682.
3. Shi, Y., Shi, L., Huang, H., Ye, K., Yang, L., Wang, Z., ... & Gao, S. (2024). Analysis of aged microplastics: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(4), 1861-1888.

Науковий керівник – М. М. Радомська к.т.н., доц.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПРИ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА ГАЗУ

Анотація. У роботі здійснено екологічну оцінку впливу нафтогазової галузі на стан атмосферного повітря. Проаналізовано основні організовані та неорганізовані джерела викидів, визначено пріоритетні забруднювачі. Оцінено рівень техногенного навантаження за індексами забруднення атмосфери. Встановлено, що під час буріння вплив має тимчасовий характер, тоді як у районах тривалого видобутку спостерігається хронічне перевищення норм. Розглянуто сучасні методи моніторингу та заходи мінімізації викидів.

Ключові слова: нафтогазова галузь, атмосферне повітря, забруднення, викиди, діоксид азоту, сірчистий ангідрид, метан, леткі органічні сполуки, моніторинг, екологічна оцінка

Екологічна оцінка впливу нафтогазової галузі на стан атмосфери свідчить, що нафтогазове виробництво на всіх його стадіях (буріння, видобуток, транспортування) здійснює шкідливий вплив на повітряне середовище [1-2]. Оцінка базується на аналізі джерел викидів, ідентифікації пріоритетних забруднювачів та використанні інструментів кількісного моніторингу.

Джерела забруднення атмосферного повітря поділяються на дві основні категорії. Організовані джерела, а саме вихлопні труби промислових дизельних двигунів (привід ротора, бурових насосів, електрогенераторів) та дихальні клапани резервуарів для зберігання дизельного пального. Неорганізовані джерела являють собою шламові амбари (випаровування вуглеводнів при відстоюванні шламу), зварювальні пости (оксиди заліза, марганцю), місця механічної обробки металу (пил) та блоки вивантаження сипких матеріалів бурового розчину [3].

Під час процесу буріння та експлуатації свердловин у повітря надходить комплекс шкідливих сполук, основними з яких є:

- Діоксид азоту (NO_2) – він представляє найбільшу частку у викидах, що сягає до 64,2%. Високий вміст оксидів азоту пригнічує імунну систему та підвищує сприйнятливість до вірусних захворювань.

- Сірчистий ангідрид (SO_2) у викидах складає близько 24,1%. Він викликає подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок.

- Оксид вуглецю (CO) становить близько 3,9%. Він є надзвичайно небезпечним через реакцію з гемоглобіном крові.

- Метан (CH_4) є потужним парниковим газом, чия здатність утримувати тепло у 28 разів вища, ніж у CO_2 . Основними джерелами є витоки з обладнання, вентилів та покинуті свердловини.

- Леткі органічні сполуки (ЛОС/VOC) - це суміші насичених та ненасичених вуглеводнів (C_1 - C_{19}), що виділяються при зберіганні палива та через витоки у фланцевих з'єднаннях і насосах.

Для визначення рівня техногенного навантаження розраховуються індекси забруднення атмосфери та порівнюються фактичні концентрації з гранично допустимими концентраціями. У модельних розрахунках під час буріння комплексний індекс забруднення може становити 0,97, що відповідає категорії «чистого повітря». Це пояснюється тим, що викиди під час спорудження свердловин мають тимчасовий характер. Водночас на територіях тривалого видобутку спостерігається хронічна загазованість повітря вуглеводнями, що перевищує норми та створює ризики вибухів і пожеж.

Існують два інноваційні підходи до оцінки стану довкілля на місцях видобутку нафти та газу. За допомогою дистанційного зондування Землі та використання супутникових даних (Sentinel-5 TROPOMI) можливо створювати інтерактивні карти забруднення метаном. У Карпатському регіоні за допомогою супутників зафіксовано стійку тенденцію до зростання вмісту CH_4 в атмосфері над нафтогазовими об'єктами. З використанням методу біоіндикації можна проводити дослідження вмісту хлорофілу в дикорослих рослинах (наприклад, *Tagetes officinale*). Виявляється пряма залежність – чим ближче рослина до видобувної свердловини, тим нижча концентрація хлорофілу в її клітинах, що вказує на пригнічення фотосинтетичного апарату.

Для мінімізації негативного впливу на атмосферу рекомендується впровадження програм для систематичного виявлення та усунення витоків за допомогою інфрачервоних камер та газових аналізаторів та управління викидами всього промислового майданчика як єдиного джерела для оптимізації екологічних показників. Ефективними також є заборона роботи двигунів бурових установок на форсованих режимах, суворий контроль регламенту робіт, використання систем рекуперації парів та факельних систем для безпечної утилізації надлишків газу.

Список використаної літератури

1. González, D., Francis, C., Shaw, G., Cullen, M., Baiocchi, M., & Burke, M. (2022). Upstream oil and gas production and ambient air pollution in California. *The Science of the total environment*, 806 Pt 1, 150298. <https://doi.org/10.31223/x5p32d>
2. Tran, H., Polka, E., Buonocore, J., Roy, A., Trask, B., Hull, H., & Arunachalam, S. (2024). Air Quality and Health Impacts of Onshore Oil and Gas Flaring and Venting Activities Estimated Using Refined Satellite-Based Emissions. *GeoHealth*, 8. <https://doi.org/10.1029/2023gh000938>
3. Field, R., Soltis, J., & Murphy, S. (2014). Air quality concerns of unconventional oil and natural gas production. *Environmental science. Processes & impacts*, 16 5, 954-69. <https://doi.org/10.1039/c4em00081a>

Науковий керівник – С. В. Манойло, к.т.н., проф.

П.С. Старжинський, аспірант
О.Г. Жукова, к.т.н., доц.
І.О. Прокопенко, аспірант
В.С. Ратушний, студент

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВІЙНА ТА ЇЇ НАСЛІДКИ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ

Анотація. *Нерівномірний розподіл водних ресурсів на території України, недостатнє очищення стічних вод перед їхнім скиданням у водойми, а також активні бойові дії значно погіршують стан поверхневих і підземних водних об'єктів. Як результат, спостерігається скорочення кількості джерел для водопостачання та зниження рівня централізованого водозабезпечення в малих населених пунктах. У перспективі це може спричинити серйозний дефіцит питної води в країні. Проблема забруднення водних ресурсів важкими металами та мікроелементами є однією з найважливіших як сьогодні, так і в найближчій перспективі. Це безпосередньо пов'язано з наслідками повномасштабного вторгнення, оскільки боєприпаси містять в собі безліч важких металів, які так чи інакше потрапляють у водні об'єкти.*

Ключові слова: поверхневі водойми, водні об'єкти, важкі метали, забруднюючі речовини, річкові басейни.

У XIX столітті відбулися істотні негативні зміни навколишнього середовища внаслідок неконтрольованого використання природних ресурсів, інтенсивного розвитку промисловості та транспорту. Як наслідок, збільшилося споживання води, одночасно зростаючи рівень її забруднення. Ці проблеми стали особливо вираженими за останні 50 років, коли антропогенний вплив на глобальний водний цикл досяг критичних масштабів. Розподіл водних ресурсів по території України є нерівномірним та відрізняється рівнем забрудненості. Глобальні зміни та порушення норм раціонального водокористування, які спостерігаються останніми десятиліттями зумовлюють лише погіршення ситуації щодо кількісних та якісних показників водних об'єктів. Екологічна ситуація ще більше ускладнилася з початком військових дій, які значно підвищили ризик екологічних катастроф. Війна завдає шкоди природному середовищу, що призводить до втрати природних ресурсів, руйнування ландшафтів, підприємств, об'єктів критичної інфраструктури, очисних споруд і систем постачання енергоносіїв. Також зафіксовано широке забруднення атмосфери, ґрунту, водних ресурсів та скорочення біорізноманіття. Але доступ до якісних водних ресурсів є одним з найважливіших факторів, які впливають на здоров'я населення, оскільки люди використовують воду для пиття та приготування їжі.

Війна в Україні суттєво впливає на річкові басейни, водні екосистеми та гідротехнічні споруди, зокрема на річку Дніпро. Ці зміни вимагають особливої уваги, оскільки приводять до значної деградації довкілля та помітних змін у гідроморфологічних режимах. Постійні ворожі обстріли та напади на критичну водну інфраструктуру не лише ускладнюють доступ населення до питної води, але

й провокують серйозне забруднення водою токсичними сполуками, включно з важкими металами та біогенними елементами. У багатьох регіонах України стан довкілля ще критичніший, що підкреслює необхідність проведення порівняльного аналізу екологічних наслідків бойових дій по всій території країни. У цій ситуації війна Росії проти України створила значні екологічні загрози, прирівняні за масштабами до найбільших антропогенних чинників впливу на природу.

Війна в Україні має значний вплив на річкові басейни, водні екосистеми та гідротехнічні споруди, особливо на річку Дніпро. Ця ситуація потребує пильної уваги через серйозну деградацію довкілля та значні зміни гідроморфологічного режиму. Обстріли та атаки на критичну водну інфраструктуру не тільки ускладнюють доступ до питної води, але й спричиняють масштабне забруднення вод токсичними речовинами, зокрема важкими металами та біогенними елементами. У багатьох регіонах країни спостерігається подібна або навіть гірша ситуація, що вказує на необхідність проведення комплексного порівняльного аналізу екологічних наслідків воєнних дій. Російська агресія проти України створила екологічні проблеми, які порівнювані з піковими антропогенними навантаженнями на довкілля під час найбільших техногенних катастроф.

Аналіз середньорічного стану води в річці Дніпро протягом 2021-2024 років демонструє помітні зміни: хоч у цілому якість води є відносно стабільною, певні показники зазнають значних коливань. У ряді випадків зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин, що свідчить про забруднення. Температура води змінювалася природним чином у залежності від сезону, а рівні рН залишалися в межах норми, що свідчить про стабільний кислотно-лужний баланс. Прозорість води коливалася, що пояснюється сезонними факторами та антропогенним впливом. Вміст амонію подекуди перевищував норму через органічне забруднення, викликане стічними водами з населених пунктів і сільськогосподарських земель. Підвищений рівень хімічного споживання кисню сигналізує про присутність органічних забруднювачів. У деяких регіонах також спостерігалось перевищення концентрації заліза, ймовірно через геологічні особливості басейну та людську діяльність, а також марганцю. Надмірний вміст фосфатів, які сприяють евтрофікації водних об'єктів, також був відмічений. Детальніший аналіз окремих ділянок басейну Дніпра за 2021-2024 роки демонструє такі результати:

- У Київському водосховищі прозорість води знизилась, а рівень хімічного споживання кисню зріс; хоча концентрації амонію залишились стабільними, зменшився вміст фосфатів і заліза.

- У Канівському водосховищі також було відмічено зниження рівня заліза й фосфатів при стабільних показниках амонію, проте прозорість води зменшилася у порівнянні з 2021 роком.

- Деталізовані дані із промірів Кам'янського, Дніпровського та Каховського водосховищ свідчать про тенденції змін у якості води через вплив війни та інших чинників. Тимчасова окупація територій також спричинила подальшу деградацію довкілля в нижній частині басейну Дніпра та Каховському водосховищі.

Війна в Україні має значний вплив на річкові басейни, водні екосистеми та гідротехнічні споруди, особливо на річку Дніпро. Ця ситуація потребує пильної уваги через серйозну деградацію довкілля та значні зміни гідроморфологічного

режиму. Обстріли та атаки на критичну водну інфраструктуру не тільки ускладнюють доступ до питної води, але й спричиняють масштабне забруднення вод токсичними речовинами, зокрема важкими металами та біогенними елементами.

Список використаної літератури

1. Хільчевський В.К. (2022). Водні та збройні конфлікти –класифікаційні ознаки: у світі та в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. No 1(63). С. 6-19.
2. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=RTnMT5IAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=RTnMT5IAAAAJ:sNmaIFBj lkC
3. https://ecology.kname.edu.ua/images/Materialy_conferency/Zbirnik_2025_Ekologicno%20staliy%20rozvitok%20ekosistem_kaf_IEM_HNUMG.pdf#page=133
4. Старжинський, П., & Прокопенко, І. (2025). ДИНАМІКА ЗМІН ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ р. ДНІПРО В МЕЖАХ м. КИЇВ. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, (49), 61–73. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.61-73>

СЕКЦІЯ 2

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЕНЕРГЕТИКИ ТА ТРАНСПОРТУ

УДК 504.064(043.2)

В. М. Бойко, аспірант

Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

ЕКОЛОГІЧНА МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Анотація. У роботі розглянуто практичні підходи до екологічної модернізації автозаправних станцій з урахуванням сучасних умов трансформації енергетичного сектору. Проаналізовано основні джерела негативного впливу АЗС на довкілля, зокрема витoki нафтопродуктів, випаровування летких сполук та неефективне управління відходами. Окрему увагу приділено технічним рішенням, які дозволяють зменшити екологічні ризики: герметизації резервуарів, впровадженню систем рекуперації парів, цифровому контролю процесів зберігання і реалізації пального. Розглянуто приклади інтеграції електрозарядної інфраструктури та використання відновлюваних джерел енергії як напрямів трансформації АЗС. Обґрунтовано, що екологічна модернізація сприяє не лише зниженню негативного впливу на довкілля, а й підвищенню економічної ефективності та конкурентних позицій підприємств. Встановлено, що поєднання технологічних інновацій, управлінських рішень і змін у структурі попиту формує передумови переходу автозаправних станцій до більш стійкої моделі функціонування.

Ключові слова: автозаправні станції, екологічна модернізація, сталий розвиток, нафтопродукти, екологічна безпека, енергетична інфраструктура, цифровізація, альтернативна енергетика.

Автозаправні станції залишаються невід'ємною частиною енергетичної інфраструктури, однак їх функціонування супроводжується низкою екологічних ризиків, які тривалий час недооцінювалися. Йдеться не лише про прямі викиди парів пального, а й про менш очевидні наслідки – поступове забруднення ґрунтів, проникнення нафтопродуктів у підземні води, а також накопичення токсичних речовин у прилеглих екосистемах. Саме тому модернізація АЗС дедалі частіше розглядається не як технічне оновлення, а як складова ширшої трансформації енергетичного сектору.

Проблематика загострюється в умовах зміни логістичних потоків та нестабільності постачання пального. Як показують дослідження, перебої у поставках змушують операторів АЗС працювати в режимі підвищеного навантаження, що підвищує ризики аварій та втрат пального [1]. У таких ситуаціях навіть незначні витoki можуть перетворюватися на системні екологічні загрози. Наприклад, перевантаження резервуарів або порушення технології зберігання здатні призвести до просочування пального у ґрунт, що складно виявити на ранніх етапах. Окремої уваги заслуговує технічний стан обладнання. Значна частина АЗС в Україні була збудована ще до впровадження сучасних екологічних стандартів. Металеві резервуари, які експлуатуються десятиліттями, поступово втрачають

герметичність. Навіть мікротріщини стають каналами для витоків. У практиці відомі випадки, коли забруднення підземних вод фіксувалося лише через кілька років після початку проблеми, коли ліквідація наслідків уже потребувала значних фінансових витрат.

Модернізація у цьому контексті передбачає передусім зміну підходу до контролю технічного стану. Впровадження подвійних стінок резервуарів із системами моніторингу дозволяє фіксувати навіть мінімальні витoki. Додатково використовуються датчики контролю тиску та рівня пального, що дає змогу оперативно реагувати на відхилення. Такі рішення вже активно застосовуються на нових автозаправних комплексах, орієнтованих на європейські стандарти.

Не менш показовим є приклад впровадження систем рекуперації парів пального. Під час заправки автомобіля утворюються легкі органічні сполуки, які потрапляють у повітря. У традиційних системах ці випари просто розсіюються, формуючи локальне забруднення. Сучасні установки дозволяють повертати ці пари назад у резервуари, що не лише зменшує екологічний вплив, а й скорочує втрати пального. За оцінками, такі системи здатні знизити викиди на десятки відсотків, що особливо відчутно в міських умовах.

Перехід до нових форматів АЗС також змінює саму концепцію їх функціонування. У дослідженнях відзначається, що традиційні станції поступово трансформуються у багатофункціональні комплекси, які поєднують продаж пального з іншими послугами [2]. Одним із напрямів цієї трансформації є інтеграція електрозарядної інфраструктури. Це не лише відповідає тенденціям розвитку транспорту, а й зменшує залежність від викопного палива. У практичному вимірі це виглядає як встановлення швидкісних зарядних станцій поряд із традиційними колонками. Такі об'єкти вже з'являються на основних транспортних коридорах. Вони орієнтовані на обслуговування електромобілів, що поступово займають більшу частку ринку. У перспективі це може змінити структуру доходів АЗС, зменшивши частку продажу нафтопродуктів.

Ще один напрям модернізації пов'язаний із цифровізацією. Системи управління запасами дозволяють точніше прогнозувати попит і уникати надлишкового зберігання пального. Це важливо з огляду на те, що тривале зберігання збільшує ризик втрат через випаровування або технічні несправності. Автоматизовані системи також допомагають контролювати якість пального, що зменшує ймовірність потрапляння неякісної продукції до споживача.

Інноваційні підходи в енергетичному секторі відкривають додаткові можливості для екологічної модернізації. Йдеться про використання альтернативних джерел енергії для забезпечення роботи АЗС. Сонячні панелі, встановлені на дахах або навісах, дозволяють частково покривати енергоспоживання об'єкта. Це знижує навантаження на електромережу та скорочує викиди, пов'язані з виробництвом електроенергії [3].

Практика показує, що навіть часткове використання відновлюваних джерел здатне суттєво змінити екологічний профіль АЗС. Наприклад, у денний час станція може працювати за рахунок сонячної енергії, а надлишки накопичувати в акумуляторах. У нічний період використовується електроенергія з мережі. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати та зменшити вуглецевий слід.

Важливим аспектом є також управління відходами. На території АЗС утворюються різні види відходів – від використаних мастил до забруднених

матеріалів. Неправильне поводження з ними може призвести до додаткового забруднення. Сучасні підходи передбачають створення окремих систем збору та утилізації, що відповідають екологічним нормам. Це включає герметичні контейнери, спеціалізовані пункти прийому та співпрацю з ліцензованими утилізаційними компаніями.

Не можна ігнорувати й соціальний аспект. Екологічна модернізація впливає на сприйняття АЗС з боку суспільства. Об'єкти, які впроваджують сучасні технології та демонструють відповідальне ставлення до довкілля, формують позитивний імідж. Це, у свою чергу, впливає на конкурентоспроможність, оскільки споживачі дедалі частіше звертають увагу на екологічні характеристики бізнесу. З економічної точки зору модернізація потребує значних інвестицій. Однак ці витрати слід розглядати як довгострокове вкладення. Зменшення втрат пального, оптимізація енергоспоживання та уникнення штрафів за порушення екологічних норм компенсують початкові витрати. Крім того, інтеграція нових сервісів відкриває додаткові джерела доходу.

Сталий розвиток у цьому випадку проявляється не як абстрактна концепція, а як конкретна модель трансформації. АЗС перестає бути лише точкою продажу пального і перетворюється на елемент сучасної енергетичної системи. Її функції розширюються, а вплив на довкілля поступово зменшується.

Підсумовуючи, можна зазначити, що екологічна модернізація автозаправних станцій формується під впливом кількох взаємопов'язаних факторів: технологічного розвитку, зміни структури попиту, посилення екологічних вимог та інтеграції у європейський простір. Реалізація цих змін вимагає системного підходу, який поєднує технічні рішення, управлінські практики та інвестиційну політику. У перспективі це дозволить зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити більш збалансований розвиток енергетичної інфраструктури.

Список використаної літератури

1. Вечеренко В. Ю. Управління логістичними ризиками автозаправних станцій. *Актуальні проблеми економіки*. 2025. URL: <https://a-economics.com.ua/index.php/home/article/download/978/963/1576>
2. Горбаль Н. І., Лиса Д. С. Конкурентоспроможність підприємств роздрібної торгівлі нафтопродуктами. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Економіка. 2024. № 2. С. 34–46. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2024/nov/36589/vse20242-34-46.pdf> (дата звернення: 01.04.2026).
3. Баула О., Ружевич Д. Передумови інноваційного розвитку енергетичного сектору. *Екологічні науки*. 2024. URL: https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/08/8.24_topic_Oleksii-Baula-Dmytro-Ruzhevych-95-106-1.pdf

Науковий керівник – Б. Д. Халмурадов к.м.н., професор

ЦИФРОВІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМИ ІНФРАСТРУКТУРНИМИ ПРОЄКТАМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Анотація. *Розглянуто можливості цифровізації управління дорожніми інфраструктурними проєктами для забезпечення екологічної безпеки. Обґрунтовано доцільність застосування геоінформаційних технологій, цифрового моніторингу та інтегрованого аналізу даних для виявлення, оцінювання й мінімізації негативного впливу дорожньої інфраструктури на довкілля.*

Ключові слова: екологічна безпека, дорожня інфраструктура, цифровізація, геоінформаційні технології, управління проєктами, моніторинг довкілля, TRANSGREEN, SaveGREEN, STICS.

Розвиток дорожньої інфраструктури є важливою передумовою соціально-економічного зростання територій, однак реалізація відповідних проєктів може супроводжуватися суттєвим антропогенним навантаженням на довкілля. До основних екологічних ризиків належать забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і водних ресурсів, шумове навантаження, порушення природних ландшафтів і фрагментація екосистем. Для європейського транспортного сектору ці виклики залишаються актуальними, оскільки транспорт істотно впливає на клімат, якість повітря, шумове навантаження та цілісність оселищ [4; 5].

У сучасних умовах особливої актуальності набуває цифровізація управління дорожніми інфраструктурними проєктами, яка передбачає використання геоінформаційних систем, засобів дистанційного зондування Землі, цифрових платформ моніторингу й аналітичних інструментів підтримки прийняття рішень. Такі технології дають змогу збирати, візуалізувати та аналізувати просторові дані про стан територій, прогнозувати потенційний вплив інфраструктурних об'єктів на довкілля та своєчасно ідентифікувати зони екологічного ризику.

Практичне значення цифрових інструментів проявляється на всіх етапах життєвого циклу проєкту. На етапі планування вони забезпечують вибір оптимального трасування та порівняння альтернативних сценаріїв. На етапі виконання робіт цифровий моніторинг сприяє оперативному контролю впливів на довкілля. Важливість такого підходу підтверджується і досвідом проєктів, зокрема TRANSGREEN, орієнтованого на екологічно ошадне планування транспортних коридорів, а також SaveGREEN, у межах якого розроблялися рішення для збереження екологічних коридорів та моніторингу ефективності природоохоронних заходів. На етапі експлуатації інфраструктурних об'єктів цифрові системи можуть застосовуватися для довгострокового спостереження за екологічним станом прилеглих територій та вчасного реагування на негативні зміни.

Водночас ефективність цифровізації залежить від доступності якісних даних, міжвідомчої взаємодії, цифрових компетентностей учасників проєкту та

узгодженості екологічних і просторових даних. Саме тому важливим завданням є створення єдиного інформаційного середовища, у межах якого екологічні показники інтегруються в систему управління проектом і стають підґрунтям для обґрунтованих рішень.

З позицій управління проектами цифровізацію доцільно розглядати не лише як набір окремих інструментів, а як елемент організаційної моделі управління екологічною безпекою. Це передбачає визначення відповідальних за збір і верифікацію даних, встановлення регулярних процедур моніторингу, інтеграцію екологічних показників у систему ризик-менеджменту та використання результатів аналізу для коригування календарних, технічних і бюджетних рішень. Такий підхід підвищує адаптивність проекту, його прозорість і здатність враховувати як технічні, так і природоохоронні пріоритети.

Практична релевантність такого підходу підтверджується досвідом міжнародних та міжсекторальних проектів. Зокрема, у проекті TRANSGREEN акцент було зроблено на узгодженні розвитку транспортної інфраструктури з потребами збереження зеленої інфраструктури та екологічних коридорів. Проект SaveGREEN розвинув ці підходи через фокус на збереженні функціональності транскордонних екологічних коридорів і моніторингу ефективності природоохоронних заходів. У свою чергу, STICS демонструє значення відкритих інноваційних екосистем, спільного використання даних, living labs і цифрових сервісів для підтримки рішень у територіальному розвитку та управлінні інфраструктурними втручаннями [1 - 3].

Особливого значення такі підходи набувають у контексті повосенного відновлення України, коли відбудова транспортної інфраструктури має поєднувати швидкість реалізації з дотриманням принципів сталого розвитку. За відсутності належного цифрового супроводу існує ризик посилення техногенного навантаження на території, конфліктів землекористування та недооцінки впливу на прилеглі екосистеми. Використання цифрових моделей, геоінформаційного аналізу й систем підтримки прийняття рішень дозволяє ще на ранніх етапах виявляти потенційні екологічні обмеження та формувати більш збалансовані сценарії розвитку дорожньої мережі.

Важливою перевагою цифровізації є можливість переходу від фрагментарного контролю до системного екологічного моніторингу. Для дорожніх інфраструктурних проектів доцільно використовувати систему індикаторів, яка охоплює стан атмосферного повітря, рівень шумового навантаження, зміну гідрологічних умов, ступінь порушення ґрунтового покриву, стан зелених зон та ризики для біорізноманіття. Візуалізація цих показників у ГІС-середовищі створює основу для більш прозорого управління проектом та підвищує обґрунтованість рішень щодо запобігання або мінімізації негативних екологічних наслідків.

Методичною основою такого підходу є інтеграція просторових, екологічних та управлінських даних у єдине цифрове середовище проекту. Доцільним є поєднання картографічних матеріалів, даних дистанційного зондування Землі, результатів екологічного моніторингу та аналітичних панелей, що забезпечує підвищення прозорості, відтворюваності та обґрунтованості управлінських рішень.

Отже, цифровізація управління дорожніми інфраструктурними проектами є важливим інструментом забезпечення екологічної безпеки. Інтеграція геоінформаційних технологій та цифрового моніторингу в систему управління

проектами сприяє зниженню екологічних ризиків, підвищенню якості управлінських рішень і формуванню передумов для сталого розвитку транспортної інфраструктури. Наукова новизна роботи полягає у поєднанні екологічного, просторового та проєктно-управлінського підходів до цифровізації дорожніх проєктів, а практична цінність - у можливості використання запропонованих положень під час планування, реалізації та моніторингу інфраструктурних проєктів з урахуванням напрацювань TRANSGREEN, SaveGREEN і STICS [1 - 3].

Список використаних джерел

1. TRANSGREEN. SPECTRA Centre of Excellence EU. URL: <https://spectra-perseus.org/Projects> (дата звернення: 12.04.2026).

2. SaveGREEN: Safeguarding the functionality of transnationally important ecological corridors in the Danube basin. SPECTRA Centre of Excellence EU. URL: <https://spectra-perseus.org/Projects/SaveGREEN> (дата звернення: 12.04.2026).

3. STICS - Smart Transformation and Innovation Consortium Slovakia. Fakulta managementu UK / STICS. URL: <https://www.fm.uniba.sk/veda-a-vyskum/vedecke-projekty-granty-a-spolupraca/medzinarodne-projekty/stics/>; <https://stics.umb.sk/en/about> (дата звернення: 12.04.2026).

4. European Environment Agency. Transport and mobility. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/transport-and-mobility> (дата звернення: 12.04.2026).

5. European Commission. Green infrastructure. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en (дата звернення: 12.04.2026).

Л. М. Черняк¹, д.т.н, проф.,
Д.В. Кварєлашвілі¹, В.О. Відмаченко¹, студенти
Т. Манєцькі², д.х.н, професор,
Р. Чешельські², к.х.н.

¹Державний університет «Київський Авіаційний Інститут», Київ
²Подзинський технологічний університет, Лодзь, Польща

ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ

Анотація У дослідженні проаналізовано вплив транспортних викидів на екологічний стан урбанізованих ґрунтів на прикладі міської автомагістралі. Експериментально досліджено екологічний стан проб ґрунту відібраних на різній відстані від автомагістралі. Зокрема, встановлено перевищення допустимого вмісту важких металів у досліджених пробах ґрунту.

Ключові слова: забруднення ґрунтів, транспортні викиди, важкі метали, фітотоксичність, екологічна безпека.

Стрімкий розвиток транспортної інфраструктури та збільшення кількості автомобілів у містах призводять до інтенсивного забруднення усіх компонентів довкілля [1]. Ґрунти міських агломерацій виконують функцію депонуючого середовища, накопичуючи значні обсяги поллютантів, що призводить до порушення їхніх екологічних функцій. До складу транспортних викидів входять відпрацьовані гази, леткі органічні сполуки, тверді мікрочастинки від стирання шин і гальмівних колодок, а також небезпечні важкі метали (свинець, кадмій, цинк, мідь, нікель). Обсяг емісії забруднюючих речовин напряму залежить від інтенсивності транспортного потоку в години пік, режиму руху (цикли «гальмування-розгін»), якості дорожнього покриття та метеоумов [2].

Частина важких металів та мікрочастинок переноситься повітряними масами та осідає на поверхню ґрунту шляхом сухого або мокрого (з атмосферними опадами) осадження. Забруднення має чітко виражений градієнтний характер. Найбільша концентрація токсикантів формується в зоні від 5 до 100 метрів від магістралі, утворюючи стійкі техногенні аномалії [2].

Метою роботи був аналіз впливу транспортних засобів на екологічний стан міських ґрунтів та обґрунтування комплексної технології їх відновлення.

Дослідження проводилося на прикладі інтенсивного міського проспекту в м. Лодзь (Польща), де головним джерелом антропогенного навантаження є щільний потік легкових, вантажних автомобілів та громадського транспорту. Для дослідження екологічного стану ґрунтів в зоні впливу автомагістралі було відібрано три проби ґрунту на відстані 5 м, 50 м та 100 м. Методом атомно-абсорбційної спектрометрії (прилад contrAA 300) встановлено суттєвий рівень забруднення досліджених проб важкими металами. Найбільший рівень концентрації встановлено для цинку (Zn): на відстані 5 м від автомагістралі його концентрація досягла 275,25 мг/кг. Максимальна концентрація свинцю (85,79 мг/кг) була виявлена на відстані 100 м від дороги, що пояснюється здатністю дрібнодисперсних сполук свинцю до аерозольного перенесення.

Моніторинг рівня кислотності, який здійснювався за допомогою електронного рН-метра, показав, що цей показник залишався відносно стабільним у всіх зразках, що свідчить про буферність міських ґрунтів навіть за умов високого техногенного навантаження.

Отже, встановлено вплив транспортної автомагістралі на екологічний стан ґрунту в зоні її впливу. На основі отриманих результатів експериментальних досліджень можемо зробити висновок про необхідність розробки методів комплексного відновлення ґрунтів вздовж автомагістралей з використання фітотехнологій, щоб не допускати критичного накопичення важких металів в зоні впливу автомагістралей з інтенсивним рухом транспортних засобів.

Список використаної літератури

1. Antonyak H., Mamchur Z., Polishchuk A., Lesiv M., Hoivanovych N. Environmental impact of road transport. Sustainable Development and Human Health / A. Krynski, G.K. Tebug, S. Voloshanska. Czestochowa: Publishing House of Polonia University "Educator", 2020. P. 61–74.
2. Polishchuk A., Lesiv M., Antonyak H. Road transport in Ukraine: the impact of heavy traffic loads on the environment. Acta Carpathica. 2019.. Vol. 31–32. P. 16–24.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ МАЛОПОТУЖНИХ БЕНЗИНОВИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Анотація. У роботі досліджено проблемне завдання очищення вихлопних газів бензинових генераторів потужністю порядку 1 кВт. Проведено аналіз відомих методів сухої фільтрації, мокро́го барботажу крізь ваняне молоко та їх комплексного застосування. Обґрунтовано ефективність синтезованого методу, заснованого на використанні зволжених волокнистих матриць, що поєднує механічне уловлювання сажі та хемосорбцію токсичних газів. Запропонована технологія очистки вихлопних газів дозволяє досягти прийняттого рівня екологічної безпеки автономних джерел енергії для людських помешкань при збереженні їх мобільності у надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: екологічна безпека, бензинові генератори, волокнисті фільтри-матриці, хемосорбція, автономне енергозабезпечення.

Вступ. В умовах дефіциту централізованого енергопостачання, зокрема під час надзвичайних ситуацій мобільні бензинові генератори малої потужності (порядку 1 кВт) стали критично важливим елементом життєзабезпечення. Проте їх експлуатація супроводжується, разом з вихлопними газами, значними викидами в атмосферу токсичних сполук, що в умовах обмеженого повітрообміну при тривалій роботі на одному місці, наприклад на балконі багатоповерхівки, суттєво знижує рівень екологічної безпеки прилеглих територій та являє пряму загрозу здоров'ю людей. Технологія очищення вихлопів таких генераторів потребує не лише високої ефективності газоочистки, але й збереження їх мобільності, пов'язаною з масогабаритними характеристиками [1]. Мета роботи – розроблення ефективного методу очищення вихлопних газів мобільних бензогенераторів від екологічно небезпечних речовин на основі синтезу механічних та хемосорбційних методів фільтрування.

Процес ефективної очистки вихлопних газів пропонується за рахунок поєднання певних методів фільтрації.

Механічна фільтрація. Для її реалізації пропонується застосування високотемпературних волокнистих матриць, виготовлених на основі базальтового або супертонкого скляного волокна, що розглядається як базовий метод первинного очищення відпрацьованих газів бензинового двигуна генератора. Вибір саме таких матеріалів обумовлений їхньою високою термічною стабільністю та здатністю зберігати структурну цілісність при постійному впливі розпечених потоків газу. Завдяки хаотичному просторовому переплетенню волокон утворюється складна тривимірна пориста структура, яка характеризується високим показником відкритої порожнечості. Така архітектура фільтрувального шару дозволяє поєднати відносно низький початковий аеродинамічний опір із великою активною площею осадження

твердих часток і крапель рідини, що є критично важливим для мобільних бензогенераторів.

Фізика процесу вловлювання твердих часток сажі, які зазвичай представлені екологічно небезпечними фракціями пилу PM2.5 та PM10, базується на складному поєднанні декількох механізмів сепарації [2]. Для часток більшого діаметра основним фактором виступає інерційне зіткнення, коли через велику масу та швидкість частка не здатна, в силу інерції, змінити траєкторію руху слідом за лінією току газу, що огинає волокно, і внаслідок зіткнення з волокном утримується на його поверхні силами адгезії. Паралельно діє механізм динамічного зачеплення, тобто торкання, що спрацьовує для часток, траєкторія яких проходить на відстані, меншій за їхній радіус від поверхні волокна. Для найбільш небезпечних субмікронних часточок (менше 0,1 мкм) домінуючим стає дифузійне осадження, зумовлене інтенсивним броунівським рухом, що значно підвищує ймовірність їхнього контакту з фільтрувальним елементом при зниженні локальної швидкості потоку всередині матриці. Проте, слід зазначити, що впровадження сухих волокнистих систем для бензинових двигунів об'ємом 50...80 см³, притаманним генераторам потужністю близько 1 кВт, стикається з певними технічними обмеженнями. Найбільш критичним параметром у цьому контексті є динамічне зростання зворотного тиску у вихлопному тракті. Через малий робочий об'єм циліндра такі двигуни мають обмежений запас вільної енергії на випуску, тому будь-яке підвищення опору фільтра миттєво погіршує якість продувки камери згоряння. Накопичення залишкових газів призводить до небажаного розбавлення свіжої паливно-повітряної суміші, що провокує падіння потужності, перегрів клапанного механізму та суттєве зростання питомої витрати палива з відповідним збільшенням викидів. Отже, хоча суха механічна фільтрація демонструє високу ефективність у затриманні твердої фази викидів, вона залишається функціонально обмеженою, оскільки не здатна нейтралізувати основні газоподібні токсиканти, такі як чадний газ та оксиди азоту, що робить цей метод лише допоміжною ланкою в комплексній схемі очистки вихлопних газів.

Наступним логічним методом підвищенні рівня екологічної безпеки автономних бензогенераторів є перехід від інертного механічного утримання часток до активного хімічного впливу на склад вихлопних газів. Найбільш розповсюдженим методом у промисловій екології для вирішення подібних завдань є барботажне очищення, яке в контексті малопотужних генераторів доцільно реалізовувати через систему мокрого гасіння із застосуванням суспензії гідроксиду кальцію, відомої як вапняне молоко. Фізична сутність такого процесу полягає у диспергуванні потоку відпрацьованих газів у об'ємі рідкої фази. Під час проходження бульбашок газу крізь шар реагенту відбувається інтенсивний дифузійний масообмін на межі розділу фаз. Це забезпечує не лише ефективне «змивання» дрібнодисперсної сажі, яка виступає ядрами конденсації у вологому середовищі, а й пряму хімічну взаємодію з газоподібними компонентами вихлопу. Ключовим реакційним процесом у даному випадку є хемосорбція діоксиду вуглецю (CO₂), що супроводжується утворенням нерозчинного осаду карбонату кальцію: $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O$ [3]

Окрім нейтралізації вуглекислоти, вапняне молоко активно зв'язує сполуки сірки, перетворюючи їх на стабільні сульфіти та сульфати, що значно знижує корозійну активність викидів та їхній специфічний запах, що викликає алергічні

реакції у людей при перевищенні їх максимальних і разових ГДК (гранично допустимих концентрацій). Важливим супутнім ефектом є радикальне зниження температури вихлопних газів за рахунок високої теплоємності води та витрат енергії на її часткове випаровування. Це мінімізує пожежні ризики при експлуатації генераторів у безпосередній тимчасовій близькості до людських помешкань або укріттів.

Незважаючи на високу екологічну ефективність, пряме впровадження барботажних систем для бензинових двигунів малого об'єму стикається із суттєвими інженерними викликами. Головним дестабілізуючим фактором є гідростатичний опір шару рідини. Для того, щоб вихлопні гази подолали тиск стовпа суспензії висотою h , двигун повинен створити додатковий тиск, що визначається класичною формулою $P = \rho gh$. У цьому контексті параметр ρ відображає густину робочої суспензії, яка у випадку вапняного молока є певною мірою вищою за густину чистої води через наявність і концентрацію завислих часточок указанного реагенту. Величина g відповідає градієнту сили тяжіння (прискоренню вільного падіння), а параметр h позначає висоту стовпа рідини над точкою виходу газу, тобто глибину занурення барботажної трубки. Отже, для поршневої групи двигуна потужністю до 1 кВт, що має малий робочий об'єм (50...80 см³), сумарний тиск P стає критичним «гальмом» на такті випуску. Оскільки такий двигун має обмежений крутний момент, необхідність подолання опору стовпа рідини призводить до виникнення надмірного зворотного тиску. Це провокує порушення газообміну в циліндрі: відпрацьовані гази не виводяться у повному об'ємі, розбавляючи свіжу паливно-повітряну суміш, що призводить до падіння термічного ККД, перегріву двигуна та його потенційної зупинки. Додатковим обмеженням є значна маса реактора, зумовлена необхідним об'ємом рідини для підтримання ефективної висоти h , що суперечить вимогам мобільності автономних систем енергозабезпечення. Саме ці фізичні обмеження зумовлюють необхідність переходу до синтезованих рішень, які б дозволили зберегти високу реакційну здатність хемосорбенту (ρ), але звели б до мінімуму вплив гідростатичного стовпа (h) на роботу двигуна.

Підсумовуючи недоліки механічної фільтрації та барботажних систем, найбільш раціональним методом очищення для генераторів потужністю до 1 кВт є синтез обох підходів у формі воложеної хемосорбційної волокнистої матриці. В основі цієї концепції лежить використання інертного волокнистого каркаса не лише як механічного бар'єра для сажи, а передусім як носія для тонкої плівки рідкого хімічного реагенту. Таке конструктивне рішення дозволяє кардинально змінити фізику масообмінних процесів, переводячи їх із об'ємного барботажу у площинну плівкову абсорбцію [4]. Завдяки цьому вдається зберегти хімічну активність реагенту, притаманну «мокрому» методу, але реалізувати її в межах компактної структури, характерної для «сухих» фільтрів.

Головною перевагою синтезованого методу є радикальне зниження аеродинамічного опору вихлопної системи при збереженні високої реакційної здатності. Оскільки рідкий реагент утримується на поверхні волокон капілярними силами та силами поверхневого натягу, потік відпрацьованих газів проходить крізь розгалужені канали матриці, контактуючи з великою сумарною площею рідкої фази, але не долаючи при цьому значний гідростатичний тиск. Таким чином, параметр h у формулі $P = \rho gh$ фактично нівелюється, оскільки замість подолання опору

суцільного стовпа рідини газ взаємодіє лише з тонкими плівками абсорбенту. Це дозволяє експлуатувати систему з бензиновими двигунами малого об'єму без ризику критичного зростання зворотного тиску, що гарантує стабільність циклів газорозподілу та збереження номінальної потужності енергоустановки.

Висока ефективність нейтралізації газоподібних токсикантів, зокрема оксидів азоту (NO_x) та залишків неповного згоряння палива, досягається за рахунок великої питомої поверхні контакту фаз, яку формує волокниста структура. Кожне окреме волокно, змочене хемосорбційним розчином (наприклад, на основі карбаміду для селективної нейтралізації NO_x або лужних сполук для зв'язування кислих газів), перетворюється на мініатюрний реактор. Одночасно з цим волога поверхня матриці набагато ефективніше утримує дрібнодисперсну сажу порівняно з сухим методом. Рідина в даному випадку діє як зв'язуючий агент, що надійно фіксує частки на волокнах, запобігаючи їх вторинному винесенню швидкісним потоком газів та забезпечуючи стабільно високу якість очищення протягом всього робочого циклу.

З експлуатаційної точки зору запропонований метод дозволяє реалізувати концепцію модульних картриджних систем, що є ключовим фактором для автономного екологічно безпечного енергозабезпечення людських помешкань у надзвичайних ситуаціях і у польових умовах. Користувач отримує можливість здійснювати швидко заміну відпрацьованих фільтрувальних елементів або їх повторне просочення реагентом (після оперативної регенерації матриці, наприклад, промиванням у чистій воді) без необхідності роботи з громіздкими резервуарами та без ризику виливу рідкого шламу. Це робить запропоновану систему раціональним технологічним рішенням, яке забезпечує необхідний рівень екологічної безпеки при збереженні високої мобільності та надійності малопотужних генераторів.

Висновки. Проведений аналіз та синтез комплексного методу очищення вихлопних газів мобільних побутових генераторів потужністю порядку 1 кВту, заснованих на використанні звложеної хемосорбційної волокнистої матриці дозволяє очікувати низку вагомих переваг порівняно з традиційними однокомпонентними системами, які, до того ж, складно реалізувати на практиці для забезпечення необхідної ефективності без втрати мобільності. Запропонований метод дозволяє досягти синергії між високою сорбційною здатністю рідких реагентів та низьким аеродинамічним опором пористих структур, що є вирішальним фактором для забезпечення екологічної безпеки в умовах автономного енергопостачання, зокрема під час надзвичайних ситуацій.

Список використаної літератури

1. Екологічна безпека та економіка : монографія / М. І. Сокур, В. М. Шмандій, В. С. Бахарев, І. М. Сокур. – Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2020. – 240 с.
2. Смирнов О. П., Левченко В. І. Фільтрація аерозолів у волокнистих матеріалах : навч. посіб. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 112 с.
3. Kohl, A. L., & Nielsen, R. V. (1997). *Gas purification* (5th ed.). Gulf Publishing Company. Екологія та природокористування : зб. наук. пр. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. – Вип. 28.

ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

Анотація. *Визначено сутність відходів та специфіку радіоактивних відходів. Розглянуто особливості поводження з радіоактивними відходами. Охарактеризовано загрози, що виникають через повномасштабну агресію з боку Росії. Узагальнено різні джерела утворення радіоактивних відходів.*

Ключові слова: відходи, радіоактивні відходи, ядерний тероризм

Сьогодні, коли Україна бореться з повномасштабною агресією з боку російської федерації та численними порушеннями законів і звичаїв війни, однією з найсерйозніших проблем залишається знищення військової та цивільної інфраструктури окупаційними силами. Особлива загроза виникла, коли російські війська захопили стратегічний ядерний об'єкт – Запорізьку атомну електростанцію, яка є ключовим елементом критичної інфраструктури країни. Ці дії часто описуються як прояв ядерного шантажу та тероризму, спрямованого не лише проти України, а й проти всієї міжнародної спільноти. У зв'язку з цим існує загроза поширення радіоактивних відходів, саме тому дане питання є актуальним.

Відходи – це будь-які речовини, матеріали або предмети, що виникають в результаті діяльності людини та більше не призначені для подальшого використання в місці, де вони були вироблені або виявлені. Такі матеріали повинні бути видалені шляхом переробки, обробки або утилізації. Небезпечні відходи включають ті види відходів, які мають фізичні, хімічні, біологічні або інші небезпечні характеристики, здатні становити значну загрозу для навколишнього середовища та здоров'я людини. Через ці властивості вони потребують спеціалізованих методів, технологій та заходів контролю під час поводження та утилізації [3].

Радіаційна безпека об'єктів, призначених для зберігання радіоактивних відходів за нормальних умов експлуатації, забезпечується шляхом суворого дотримання встановлених правил, стандартів та технічних вимог щодо ядерної та радіаційної безпеки [5]. Проте, наразі існує загроза ядерного тероризму, що сприймається світом як один із найсерйозніших викликів міжнародній безпеці. Зі збільшенням кількості терористичних актів зростає також ризик того, що різні злочинні групи, терористичні організації або навіть окремі особи можуть спробувати використовувати радіоактивні матеріали у своїй діяльності. Тому ефективна система ядерної безпеки повинна захищати державу, суспільство та довкілля від саботажу, крадіжок або іншої незаконної діяльності, пов'язаної з ядерними матеріалами, радіоактивними відходами та джерелами іонізуючого випромінювання.

Триваюча збройна агресія проти України робить цю ситуацію ще складнішою. Регулярні авіанальоти, атаки безпілотників та крилатих ракет, що пролітають поблизу атомних електростанцій, а також обстріли енергетичної інфраструктури призводять до відключень електроенергії та пошкодження ліній електропередач.

Усі ці чинники безпосередньо впливають на безпеку ядерних установок та завдають збитків компаніям, що займаються поводженням з радіоактивними відходами, зберіганням відпрацьованого ядерного палива та джерелами іонізуючого випромінювання [2].

У загальному розумінні радіоактивні відходи – це матеріали, що утворюються під час використання речовин із радіоактивними властивостями. Разом з тим, виділяють дві групи джерел радіоактивних відходів: первинні джерела та вторинні (рис. 1)

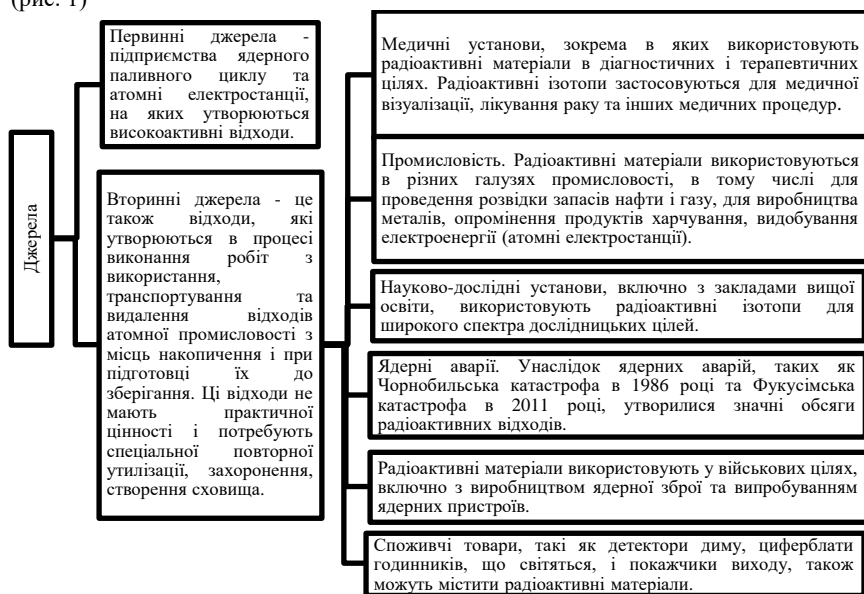


Рис. 1 Джерела утворення радіоактивних відходів [1]

Залежно від рівня радіоактивності їх зазвичай поділяють на три основні групи: низькоактивні, середньоактивні та високоактивні відходи. До низькоактивних належать матеріали, які містять незначну кількість радіоактивних речовин, тому їх можна утилізувати на спеціально обладнаних полігонах. Відходи середнього рівня активності характеризуються вищою концентрацією радіоактивних елементів, через що потребують більш суворого контролю, спеціальних умов обробки та відповідних методів захоронення. Радіоактивні відходи становлять серйозну загрозу як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людей, тому потребують ретельного контролю та належної системи управління. Основними джерелами утворення таких відходів є ядерна енергетика, сфера ядерної медицини, а також різні види промислової діяльності. У результаті роботи цих галузей утворюються відходи з високим рівнем радіоактивності (високоактивні відходи), які можуть залишатися небезпечними для довкілля протягом дуже тривалого часу – іноді навіть тисяч років. Найбільш поширеним видом радіоактивних відходів є відпрацьоване ядерне паливо, що утворюється під час виробництва електроенергії на атомних електростанціях. Окрім цього, до таких відходів належать матеріали, які

виникають у процесі застосування радіоактивних речовин у медицині та різних промислових технологіях. Тому їх безпечно зберігання, переробка та утилізація є важливою умовою захисту людей і довкілля [4]. Радіоактивні відходи становлять суттєву загрозу для довкілля, адже їхня небезпечність може зберігатися протягом тисячоліть. У разі неналежного поводження з такими матеріалами вони здатні завдати значної шкоди здоров'ю людей та природним екосистемам.

Функціонування атомних електростанцій неминуче пов'язане з утворенням високоактивних радіоактивних відходів. Вони виникають у процесі ядерного поділу урану або плутонію в реакторах і є одним із побічних продуктів виробництва електроенергії на ядерних енергетичних установках.

Таким чином, було узагальнено значення радіоактивних відходів як матеріалів, що утворюються під час використання речовин із радіоактивними властивостями. Визначено небезпеку, зважаючи на сучасні реалії. Розглянуто джерела утворення радіоактивних відходів та різні їх види.

Список використаних джерел

1. Калита О. М. Поводження з радіоактивними відходами ЧАЕС. Кваліфікаційна робота. 2023. 70 с.

2. Лех Р., Сірий О. Роль і місце СБ України в протидії незаконному обігу радіоактивних та ядерних матеріалів в умовах воєнного стану. СБУ в умовах війни в Україні: сучасні реалії та інноваційні стратегії забезпечення національної безпеки: матеріали міжнародної науково-практичної конференції 4-5 липня 2024 року. Київ : Алерта, 2024. С. 182 – 184.

3. Про відходи : Закон України від 5.03.1998 № 187/98-ВР1. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98>

4. Про загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 17.09.2008 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/516-17#Text>

5. Щербина Є. М., Сабадир Д.О. Правова охорона довкілля від забруднення відходами. Наково-практична конференція м. Львів, 21-22 жовтня 2022 р. С. 35 – 39.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Розглянуто сучасні підходи до утилізації акумуляторних батарей електромобілів, проаналізовано екологічні ризики їх накопичення та окреслено перспективні технології переробки. Особливу увагу приділено літій-іонним батареям як домінуючому типу енергетичних накопичувачів у транспортному секторі. Визначено основні виклики та запропоновано напрями вдосконалення системи поводження з відпрацьованими акумуляторами.

Ключові слова: електромобілі, літій-іонні батареї, утилізація, переробка, екологія, вторинні ресурси.

Зростання популярності електромобілів у світі є важливим кроком до зменшення викидів парникових газів та залежності від викопного палива. Однак поряд із перевагами виникає нова екологічна проблема – утилізація відпрацьованих акумуляторних батарей. Очікується, що протягом наступних десятиліть обсяги таких відходів суттєво зростуть, що потребує ефективних рішень для їх обробки та повторного використання.

Найбільш поширеними є літій-іонні батареї, які містять такі компоненти, як літій, кобальт, нікель, марганець та графіт. Ці матеріали є цінними, але водночас потенційно небезпечними для довкілля при неналежному поводженні. Термін служби батарей зазвичай становить 8–15 років, після чого їх смість знижується до рівня, непридатного для використання в транспорті.

Неправильна утилізація акумуляторів може призвести до забруднення ґрунтів і вод важкими металами; виділення токсичних речовин; підвищення ризику пожеж і вибухів. Крім того, видобуток первинної сировини для виробництва батарей має значний екологічний слід, що підсилює необхідність вторинної переробки матеріалів.

Існує кілька основних підходів до утилізації акумуляторів:

1. механічна переробка передбачає подрібнення батарей і розділення компонентів. Цей метод є початковим етапом для подальших процесів.

2. пірометалургія здійснюється шляхом плавлення батарей при високих температурах. Дозволяє вилучати метали, але є енергоємною та супроводжується викидами.

3. гідрометалургія базується на використанні хімічних розчинів для вилучення металів. Вважається більш екологічно безпечною та ефективною.

4. Пряме відновлення – це інноваційний метод, що дозволяє зберегти структуру матеріалів катода, зменшуючи витрати енергії та ресурсів.

Акумуляторні батареї електромобілів також можуть повторно використовуватися. Після завершення використання в електромобілях батареї

можуть застосовуватись у стаціонарних системах зберігання енергії. Це дозволяє продовжити їх життєвий цикл та зменшити обсяг відходів.

На сьогодні в Україні серед основних проблем та викликів утилізації акумуляторних батарей є: відсутність уніфікованих стандартів утилізації; складність розбирання батарей; економічна нерентабельність деяких технологій; недостатній розвиток інфраструктури збору відходів.

Утилізація акумуляторних батарей електромобілів супроводжується низкою складних проблем, які мають технологічний, економічний та екологічний характер.

Сучасні літій-іонні акумулятори мають багатокомпонентну структуру (катод, анод, електроліт, сепаратори), що ускладнює їх розбирання. Батареї різних виробників відрізняються за формою, хімічним складом і способом збирання. Відсутність стандартизації ускладнює автоматизацію процесів переробки.

Акумулятори містять токсичні та реактивні речовини (літій, кобальт, електроліти). При пошкодженні або неправильному зберіганні можливе витікання шкідливих речовин. Потрапляння цих речовин у ґрунт і воду призводить до тривалого забруднення екосистем.

Результати аналізу світових підходів до утилізації батарей електромобілів свідчать про їхню поступову конвергенцію в таких напрямках: запровадження розширеної відповідальності виробника; розвиток циркулярної економіки; підвищення рівня переробки критичної сировини (матеріалів); впровадження цифрових систем контролю та моніторингу.

Утилізація акумуляторних батарей електромобілів є важливою складовою сталого розвитку транспортної галузі. Ефективне поєднання переробки та повторного використання дозволить мінімізувати екологічні ризики та забезпечити раціональне використання ресурсів. Необхідним є комплексний підхід, що включає технологічні інновації, економічні стимули та нормативне регулювання.

Список використаної літератури

1. Olishevskaya, V. E., Olishevskiy, N. S., & Ivanova, N. P. (2025). Electric Vehicle Batteries: Technical and Environmental Aspects. *Science and Transport Progress*, (2(110)), 35–49. <https://doi.org/10.15802/stp2025/332155>
2. Бажинов О. В., Кравцов М. М. *Небезпека транспортних засобів: монографія*. Харків: ЧП Стариченко Л. А., 2022. С. 51–55.
3. Шуптар-Поривасва, Н. (2020). Перспективи розвитку системи поводження з відпрацьованими електромобільними акумуляторними батареями в Україні. *Mechanism of an Economic Regulation*, (3 (89)), 59–67. <https://doi.org/10.21272/mer.2020.89.05>

Науковий керівник – О. М. Тихенко, д.т.н., проф.

ПРОВЕДЕННЯ LCA-АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ХІМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. У роботі розглянуто особливості проведення LCA-аналізу життєвого циклу хімічних матеріалів. Обґрунтовано доцільність використання методології для оцінки екологічного впливу продукції та визначення напрямів його мінімізації в умовах сталого розвитку.

Ключові слова: LCA-аналіз, життєвий цикл, хімічні матеріали, екологічна безпека, сталий розвиток, циркулярна економіка.

Сучасні трансформаційні процеси в економіці, зумовлені переходом до концепції сталого розвитку, актуалізують необхідність впровадження комплексних підходів до оцінки екологічного впливу продукції хімічної промисловості. Враховуючи високий рівень ресурсомісткості та потенційну екологічну небезпеку хімічних виробництв, особливого значення набуває застосування інструментів, що дозволяють оцінювати вплив на довкілля протягом усього життєвого циклу продукції. Одним із найбільш ефективних підходів у цьому контексті є методологія оцінювання життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA), яка забезпечує системний аналіз екологічних аспектів на всіх стадіях існування матеріалів - від видобутку сировини до кінцевої утилізації або повторного використання [1].

Методологічна база LCA-аналізу ґрунтується на міжнародних стандартах серії ISO 14040-14044, які визначають структуру та зміст дослідження [2]. Відповідно до зазначених стандартів, процес оцінювання життєвого циклу включає чотири взаємопов'язані етапи: визначення мети та обсягу дослідження, інвентаризаційний аналіз (Life Cycle Inventory, LCI), оцінку впливу на довкілля (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) та інтерпретацію результатів. Кожен із зазначених етапів має ключове значення для забезпечення достовірності та наукової обґрунтованості отриманих результатів.

Особливість застосування LCA-аналізу до хімічних матеріалів полягає у складності виробничих ланцюгів, значній кількості проміжних продуктів і реакцій, а також наявності широкого спектра викидів і відходів, що можуть мати токсичний або кумулятивний ефект [3]. У зв'язку з цим виникає необхідність деталізованого опису технологічних процесів, врахування енергетичних потоків та оцінювання впливу допоміжних матеріалів, що використовуються у виробництві.

Важливим методичним аспектом проведення LCA є визначення функціональної одиниці, яка слугує базою для порівняння альтернативних варіантів продукції або технологій. Не менш суттєвим є встановлення меж системи дослідження, що визначає обсяг охоплення процесів життєвого циклу [4]. Некоректне визначення цих параметрів може призвести до спотворення результатів і зниження їх практичної цінності.

Інвентаризаційний аналіз передбачає збір і систематизацію даних про матеріальні та енергетичні потоки, що супроводжують життєвий цикл продукції. На цьому етапі особливу увагу приділяють якості та повноті даних, оскільки їх недостатність або невідповідність може суттєво вплинути на результати оцінювання. Для підвищення достовірності досліджень широко використовуються спеціалізовані бази даних, зокрема Ecoinvent та GaBi, які містять інформацію про типові технологічні процеси та їх екологічні характеристики.

Етап оцінки впливу на довкілля (LCIA) спрямований на визначення потенційних екологічних наслідків, пов'язаних із виявленими потоками речовин і енергії. Найбільш поширеними категоріями впливу є глобальне потепління, кислотність, евтрофікація, токсичність для людини та екосистем, а також виснаження природних ресурсів [5]. Результати цього етапу дозволяють здійснювати кількісну оцінку екологічного навантаження та порівнювати альтернативні варіанти технологій.

Інтерпретація результатів LCA-аналізу передбачає ідентифікацію так званих «гарячих точок» життєвого циклу, тобто стадій, що формують найбільший внесок у загальний екологічний вплив. Це створює основу для розроблення заходів щодо оптимізації виробничих процесів, зменшення споживання ресурсів, впровадження екологічно безпечних матеріалів і технологій, а також переходу до моделей циркулярної економіки.

Резюмуючи, можна сказати, що LCA-аналіз є потужним інструментом екологічного менеджменту у хімічній галузі, що забезпечує науково обґрунтоване прийняття управлінських рішень, спрямованих на підвищення екологічної безпеки. Перспективи подальших досліджень пов'язані з інтеграцією методології LCA з сучасними цифровими технологіями, зокрема великими даними, штучним інтелектом та системами підтримки прийняття рішень, що дозволить підвищити точність прогнозування екологічних впливів і ефективність управління сталим розвитком хімічних виробництв.

Список використаної літератури / References

1. ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Geneva: ISO, 2006.
2. ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Geneva: ISO, 2006.
3. Guinée J. B. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht: Springer, 2002.
4. European Commission. ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment – Detailed Guidance. Luxembourg, 2010.
5. Curran M. A. Life Cycle Assessment Student Handbook. Hoboken: Wiley, 2015.

ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

Анотація. У роботі розглянуто питання розвитку зеленого будівництва та підвищення енергоефективності будівель в умовах сучасних викликів, зокрема військових дій, дефіциту енергоресурсів та нестабільного енергопостачання. Проаналізовано основні напрями впровадження ресурсозберігаючих технологій, використання альтернативних джерел енергії, систем накопичення електроенергії, термомодернізації будівель та автоматизації управління енергоспоживанням. Обґрунтовано, що впровадження принципів зеленого будівництва сприяє підвищенню енергетичної незалежності, стійкості інфраструктури та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Ключові слова: зелене будівництво, енергоефективність будівель, ресурсозбереження, енергетична незалежність, відновлювані джерела енергії, термомодернізація, автономні системи.

Сучасний розвиток будівельної галузі характеризується значним зростанням потреб у енергетичних ресурсах, що супроводжується збільшенням негативного впливу на навколишнє природне середовище. Урбанізація, зростання населення та підвищення рівня комфортності проживання призводять до збільшення споживання енергії будівлями, що, у свою чергу, спричиняє зростання викидів парникових газів, виснаження природних ресурсів та погіршення екологічного стану довкілля [1]. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження концепції зеленого будівництва та підвищення енергоефективності будівель, які спрямовані на зменшення негативного впливу будівельної діяльності на довкілля, підвищення економічної ефективності та забезпечення комфортних умов проживання для населення [2].

Особливої актуальності питання ресурсозбереження та енергозбереження набули в Україні в умовах повномасштабної військової агресії та тривалих бойових дій. Внаслідок масованих ракетних ударів та атак на об'єкти критичної інфраструктури було пошкоджено або знищено значну кількість електростанцій, підстанцій, об'єктів генерації та мереж електропередач. Це призвело до суттєвого дефіциту електроенергії, регулярних аварійних відключень та нестабільності енергопостачання у багатьох регіонах країни. У таких умовах питання енергоефективності будівель виходить за межі лише економічної або екологічної проблематики і стає важливим елементом енергетичної безпеки держави та стійкості цивільної інфраструктури.

Додатковим фактором, що підсилює актуальність ресурсозбереження, є дефіцит традиційних енергетичних ресурсів, зокрема природного газу, вугілля та нафтопродуктів. Порушення логістичних ланцюгів постачання палива, зростання вартості енергоресурсів та обмежені можливості імпорту значно ускладнюють

забезпечення стабільного енергопостачання. В умовах дефіциту палива та електроенергії особливо важливим стає впровадження енергоефективних технологій, які дозволяють зменшити споживання ресурсів та підвищити автономність будівель.

У сучасних умовах енергоефективні будівлі можуть відігравати важливу роль у забезпеченні безперебійного функціонування житлових, адміністративних, освітніх та медичних установ [3]. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів, енергоефективних систем опалення та вентиляції, а також впровадження автономних систем енергопостачання дозволяє значно зменшити залежність від централізованих мереж. Особливо актуальним є впровадження сонячних електростанцій, систем накопичення енергії, теплових насосів та альтернативних систем опалення [4].

Важливим напрямком розвитку енергоефективності будівель є використання систем накопичення електроенергії, які дозволяють зберігати енергію у періоди її наявності та використовувати під час відключень. Такі системи особливо актуальні для забезпечення безперебійної роботи критично важливих об'єктів, таких як лікарні, навчальні заклади, адміністративні установи та житлові будинки. Використання акумуляторних систем у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії дозволяє створювати автономні енергетичні системи.

Також важливим аспектом ресурсозбереження є зменшення споживання теплової енергії. Значна частина будівель в Україні характеризується низьким рівнем теплоізоляції, що призводить до значних тепловтрат. Проведення термомодернізації будівель, утеплення фасадів, заміна вікон, модернізація систем опалення дозволяє значно зменшити споживання енергії та підвищити комфорт проживання [5]. В умовах дефіциту енергоресурсів такі заходи стають особливо важливими.

Суттєву роль у забезпеченні енергозбереження відіграють системи автоматизації та управління енергоспоживанням [6]. Сучасні технології "розумного будинку" дозволяють автоматично регулювати температуру, освітлення, вентиляцію та інші параметри мікроклімату, що сприяє раціональному використанню ресурсів. Використання датчиків руху, температури, вологості та освітленості дозволяє зменшити витрати енергії та підвищити ефективність використання ресурсів.

В умовах воєнного стану також особливого значення набуває розвиток автономних будівель, які можуть функціонувати незалежно від централізованих систем енергопостачання. Такі будівлі оснащуються альтернативними джерелами енергії, системами накопичення енергії, автономними системами водопостачання та опалення [7]. Це дозволяє забезпечити безперебійну роботу будівель навіть у разі тривалих відключень електроенергії.

Крім того, зелене будівництво передбачає також раціональне використання водних ресурсів, що є важливим в умовах пошкодження інженерної інфраструктури. Використання систем збору дощової води, повторного використання води та водозберігаючих технологій дозволяє зменшити споживання води та підвищити автономність будівель.

Враховуючи сучасні виклики, розвиток зеленого будівництва та енергоефективності будівель в Україні стає одним із ключових напрямків відновлення та модернізації інфраструктури. Впровадження енергоефективних технологій дозволять не лише зменшити споживання ресурсів, але й підвищити стійкість будівель до кризових ситуацій, забезпечити комфортні умови проживання та сприяти сталому розвитку держави.

В умовах військових дій, знищення об'єктів енергетичної інфраструктури, дефіциту палива та нестабільного енергопостачання питання зеленого будівництва та енергоефективності будівель набувають стратегічного значення. Впровадження ресурсозберігаючих технологій, автономних систем енергопостачання та сучасних матеріалів дозволяє забезпечити енергетичну незалежність, підвищити стійкість інфраструктури та створити безпечне середовище для населення навіть у складних умовах сьогодення.

Список використаної літератури

1. Ткаченко Т. М., Мілейковський В. О. Зелені конструкції у концепції сталого розвитку сучасних міст. Сучасні проблеми будівництва та архітектури. 2017. С. 112–118.
2. Asdrubali F., Fronzetti Colladon A., Segneri L. LCA and energy efficiency in buildings: mapping more than twenty years of research. *Energy and Buildings*. 2024.
3. Rutkowska I., Salabai R., Salabai I. Green construction: innovations, energy efficiency, and prospects for Ukraine. *Industrial Machine Building Civil Engineering*. 2025. DOI: [10.26906/znp.2025.64.4176](https://doi.org/10.26906/znp.2025.64.4176).
4. Tkachenko T. M., Savchenko A. M. Implementation of European regulations of green building in the construction industry of Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources*. 2022. Vol. 1. P. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.31-43>.
5. Hakawati B., Mousa A., Draidi F. Smart energy management in residential buildings: the impact of knowledge and behavior. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 1702. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51638-y>.
6. Ebeed M., Hassan S., Kamel S. et al. Smart building energy management with renewables and storage systems. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79782-5>.
7. Kanso H., Noureddine A., Exposito E. An automated energy management framework for smart homes. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3233/AIS-220482>.

Науковий керівник – О. С. Волошкіна, д.т.н., проф.

РОЛЬ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ

Анотація. У роботі досліджено трансформацію енергетичної системи України в умовах воєнного стану та обґрунтовано значення відновлюваних джерел енергії як ключового інструменту забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку. Визначено доцільність переходу до децентралізованої моделі енергозабезпечення на основі розподіленої генерації, мікромереж та систем накопичення енергії. Запропоновано модель енергетичної автономії територіальної громади.

Ключові слова: Відновлювальні джерела енергії, енергетична безпека, сталий розвиток, децентралізація, енергетична стійкість.

Повномасштабна війна спричинила суттєві структурні зміни в енергетичному секторі України, що проявляються у значних втратах генеруючих потужностей, пошкодженні мережевої інфраструктури та підвищенні рівня ризиків функціонування енергосистеми. За узагальненими оцінками, обсяг втрат генеруючих потужностей перевищує 40 %, що негативно впливає на стабільність енергопостачання [3].

Водночас спостерігається зростання імпортозалежності енергетики: у 2025 році імпорт енергоресурсів суттєво перевищував експорт, що свідчить про дисбаланс енергетичного ринку та необхідність диверсифікації джерел енергії [1]. За таких умов централізована модель енергосистеми демонструє обмежену стійкість до зовнішніх впливів, що зумовлює актуальність переходу до децентралізованих рішень.

У довоєнний період розвиток відновлюваної енергетики характеризувався позитивною динамікою: частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергобалансі України зростає з 3,9 % до понад 9,19 %, що свідчить про поступову трансформацію енергетичної системи у напрямі екологізації [2]. Проте в умовах війни цей показник знизився приблизно до 7 %, що пов'язано з руйнуванням інфраструктури та технічними обмеженнями інтеграції ВДЕ [3].

Одним із ключових напрямів підвищення стійкості енергосистеми є впровадження розподіленої генерації на основі ВДЕ. Використання сонячної, вітрової та біоенергетики забезпечує формування локальних енергетичних систем типу Microgrids, здатних функціонувати автономно та підтримувати енергозабезпечення об'єктів критичної інфраструктури.

Економічна ефективність ВДЕ підтверджується показником нормованої вартості електроенергії (LCOE), який дозволяє оцінити повну вартість генерації протягом життєвого циклу об'єкта. За міжнародними оцінками [4], сонячна та

вітрова енергетика демонструють конкурентні показники вартості порівняно з традиційними джерелами у (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльний аналіз LCOE різних джерел енергії [4]

Джерело енергії	LCOE, дол./кВт·год	Річна генерація (1 МВт), млн кВт·год	Річна вартість, млн дол.
Сонячна енергетика	0,10	1,25	0,125
Вітрова енергетика	0,09	2,80	0,252
Біоенергетика	0,11	7,00	0,770
Газова генерація	0,15	7,50	1,125
Вугільна генерація	0,13	7,20	0,936

Наведені у табл. 1 показники річної генерації сонячної енергетики становлять близько 1250 кВт·год[4]. Такий рівень генерації зумовлений природно-кліматичними умовами, і для більшості європейських країн рівень виробітку електроенергії перебуває в межах 1000–1300 кВт·год[6].

Фактичні обсяги виробництва електроенергії можуть варіюватися залежно від технічних характеристик обладнання, умов його розміщення та експлуатаційних втрат. У зв'язку з цим зазначене значення є доцільним для проведення попередніх техніко-економічних оцінок і може використовуватися при плануванні розвитку локальних енергетичних систем [6]. Важливу роль відіграє біоенергетика. Використання біомаси як енергетичного ресурсу дозволяє замішувати вичерпані види палива та підвищувати енергетичну незалежність територій. Біомаса включає широкий спектр органічної сировини – від сільськогосподарських і лісових відходів до спеціально вирощуваних енергетичних, що забезпечує значну ресурсну базу для виробництва енергії [7]. Особливою перевагою біоенергетики є її гнучкість: на відміну від сонячної та вітрової енергії, виробництво енергії з біомаси (зокрема біогазу) не залежить від погодних умов і може здійснюватися безперервно, що робить її важливим інструментом балансування енергосистеми[7].

Екологічний ефект впровадження ВДЕ полягає у скороченні викидів парникових газів. За оцінками, заміщення вугільної генерації сонячною дозволяє зменшити викиди CO₂ на сотні тонн щорічно на одиницю потужності, що є суттєвим фактором екологічної стабілізації [4]. Водночас особливості формування таких енергетичних систем, їх структурні компоненти та принципи функціонування узагальнено в табл. 2.

Таблиця 2

Моделі енергетичних систем на основі ВДЕ

Компонент системи	Характеристика
Джерела енергії	Сонячна, вітрова та гідроенергетика
Принцип функціонування	Інтеграція різних видів ВДЕ в єдину систему
Тип моделі	Децентралізована енергетична система

Генерація енергії	Розподілена (локальна)
Накопичення енергії	Використання акумулюючих (накопичувальних) систем
Управління	Інтелектуальне (smart-grid технології)

Отже, в умовах воєнних викликів ВДЕ набувають стратегічного значення для забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку України. Їх впровадження сприяє підвищенню стійкості енергосистеми, зниженню екологічного навантаження та формуванню децентралізованої моделі енергозабезпечення. Подальший розвиток ВДЕ пов'язаний із впровадженням систем накопичення енергії, інтелектуальних мереж та вдосконаленням державної політики у сфері енергетики [5].

Список використаних джерел

1. Нестеренко С. А., Чумаков К. І., Суворова С. Г. Оцінка економічної доцільності переходу на відновлювані джерела енергії в умовах війни та дефіциту ресурсів // Наукові інновації та передові технології. 2026. № 2 (44). С. 157–177. URL: <https://perspectives.pp.ua/index.php/sn/article/view/37379>.
2. Мельник, Л., Карінцева, О., Пархоменко, Д., Кубатко, О., & Завдов'єва, Ю. (2025). Еколого-економічні аспекти переходу України на «зелену» енергетику в умовах воєнного стану. Київський економічний науковий журнал, (8), 173-182. URL: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-8-23>
3. Відновлювана енергетика України 2025: огляд стану, викликів та перспектив / BDO в Україні. 2025. URL: <https://www.bdo.ua/uk-ua/insights-2/information-materials/2025/vidnovlyuvalna-energetika-ukrayiny-2025-oglyad-vyklyky-perspektyvy>
4. Generation Costs in 2024 / International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi, 2025. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_TEC_RPGC_in_2024_2025.pdf.
5. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року : розпорядження КМУ від 2024 р. № 761-р // Міністерство енергетики України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text/>
6. Solar panel performance calculation: What is the system capacity? // News. – 2025. – 24 березня. – Режим доступу. URL: <https://shop.solar-kit.eu/ua/blog/post/solar-panel-performance-calculation-what-is-the-system-capacity>
7. Біоенергетика / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://sae.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/bioenerhetyka>

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІРОЛІЗУ ВТОРИННОЇ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ І СИРОВИНИ

Анотація. У роботі обґрунтовано переваги термохімічної деструкції вторинної вуглеводневої сировини як інструменту рекуперації ресурсів. Проведено аналіз впливу температурних режимів на вихід піроконденсату та запропоновано інженерні рішення, зокрема використання індукційного нагріву та консольного кріплення шнека, для стабілізації якості продуктів і підвищення енергоефективності процесу в межах циркулярної економіки.

Ключові слова: піроліз, вторинна вуглеводнева сировина, шнековий реактор, індукційний нагрів, енергоефективність, циркулярна економіка.

Глобальна тенденція до накопичення полімерних відходів перетворила проблему поводження з вторинною вуглеводневою сировиною на стратегічний виклик для національної безпеки України. В умовах енергетичного дефіциту пріоритетом є впровадження технологій, що відповідають стандартам European Green Deal та принципам циркулярної економіки.

Найбільш перспективним інструментом є термохімічна конверсія (піроліз), яка дозволяє трансформувати низьколіквідні відходи у високоцінні енергоносії - піролізну олію, газ та вуглецевий залишок. Порівняно з прямим спалюванням, піроліз забезпечує зниження емісії CO₂ на 70-75% та виключає утворення токсичних діоксинів завдяки роботі у герметичному безкисневому середовищі.

Для максимізації виходу рідкої фази (до 75-97% для поліолефінів) критичним є прецизійне підтримання температури в діапазоні 400-550 °С. Традиційне вогневе нагрівання спричиняє локальні перегріву та закоксовування шнека, що знижує ресурс обладнання. Натомість використання височастотної індукційної системи забезпечує ККД на рівні 85-92% та точність регулювання до 1 °С.

Важливим інженерним рішенням для шнекових реакторів є впровадження кантілеверної (консольної) схеми кріплення шнекового валу. Це дозволяє нівелювати термічні напруження при температурах до 600 °С та підвищити міжремонтний ресурс до 8000 годин на рік. Оптимальною моделлю для громад є створення «енергетичних островів» на базі мобільних модульних установок, що працюють за гібридною схемою: індукційний нагрів для контролю реакції та рекуперація власного газу для термодинамічної автономності.

Таблиця 1

Показники технологій термодеструкції вторинної вуглеводневої сировини

Параметр порівняння	Традиційне спалювання	Вогневий піроліз	Індукційний піроліз
Вихід рідкого палива, %	0	45-60	75-95
Точність контролю t , °C	± 50	± 20	± 1
Емісія CO ₂ та NO _x	Висока	Середня	Мінімальна (герметично)
ККД нагріву, %	30-40	50-60	85-92

Впровадження вдосконалених піролізних систем із використанням індукційного нагріву та консольного кріплення шнека дозволяє вирішити критичну проблему нестабільності виходу енергоносіїв із вторинної сировини. Перехід від лінійної моделі утилізації відходів до створення локальних «енергетичних островів» забезпечує не лише екологічну безпеку територій, а й підвищує енергетичну незалежність громад. Запропоновані технологічні рішення дозволяють досягти високого ступеню автономності переробних комплексів, що є стратегічно важливим для відновлення промислового потенціалу України в межах післявоєнного розвитку та своінтеграційних екологічних стандартів.

Список використаної літератури

- 1.Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2014). Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, 34(12), 2466–2486. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.004>
- 2.Гринишин К. О., Скорохода В. Й., Червінський Т. І. Поліетиленові відходи - сировина для одержання компонентів моторних палив. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2023. Vol. 6, No. 2. P. 131-138.
- 3.Каталітичний швидкий піроліз відходів поліетилену високої щільності / О. І. Іваненко та ін. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2025. № 3. С. 61-69.

УПРАВЛІННЯ ПОВОДЖЕННЯМ З ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНУВАНЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Анотація. У сучасних умовах значних руйнувань об'єктів інфраструктури та зростання техногенного навантаження на довкілля особливої актуальності набувають питання ефективного управління відходами, що утворюються внаслідок пошкодження транспортних підприємств та елементів транспортної інфраструктури. У роботі розглянуто проблеми організації системи поводження з відходами від руйнувань у транспортному секторі з урахуванням вимог екологічної безпеки. Проаналізовано основні джерела утворення таких відходів, їх склад та потенційні ризики для навколишнього природного середовища. Підкреслено значення комплексного підходу до організації системи поводження з відходами руйнувань, що передбачає використання сучасних технологічних рішень, удосконалення нормативно-правового забезпечення та впровадження принципів циркулярної економіки. Реалізація запропонованих підходів сприятиме зниженню негативного впливу відходів на довкілля, підвищенню рівня екологічної безпеки та ефективному відновленню транспортної інфраструктури.

Ключові слова: відходи від руйнувань, транспортна інфраструктура, управління відходами, екологічна безпека, перероблення відходів.

Питання ефективного поводження з відходами, що утворюються внаслідок руйнування будівель, споруд та об'єктів транспортної інфраструктури, набуває особливого значення у процесі відновлення України [1]. Транспортний сектор відіграє важливу роль у функціонуванні національної економіки, забезпечуючи безперервність логістичних процесів, мобільність населення та стабільну роботу виробничих систем.

Унаслідок пошкодження або знищення елементів транспортної мережі: автомобільних доріг, мостів, залізничних колій, транспортних вузлів та інших інфраструктурних об'єктів – утворюються значні обсяги відходів. До основних джерел їх формування належать також пошкоджені будівлі транспортних підприємств, інженерні споруди, дорожнє покриття та допоміжні об'єкти транспортної інфраструктури.

Руйнування інфраструктури під час воєнних дій призводить до утворення великої кількості відходів, серед яких особливу небезпеку становлять матеріали з високою токсичністю, стійкістю до розкладу та вибухонебезпечністю [2]. Накопичення таких відходів може становити суттєву загрозу для довкілля та здоров'я населення. За відсутності належної системи управління зростає техногенне навантаження на навколишнє природне середовище, що може призводити до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також погіршення якості атмосферного повітря. Це зумовлює необхідність організації

ефективної системи обліку, сортування та подальшої переробки відходів руйнувань.

Відходи, що утворюються внаслідок руйнування об'єктів транспортної інфраструктури, характеризуються різноманітним складом і властивостями. Їх джерелами є пошкоджені будівлі та споруди транспортних підприємств, елементи дорожньої інфраструктури, інженерні мережі, транспортні засоби, а також матеріали та обладнання, що використовуються під час експлуатації транспортних систем. У структурі таких відходів переважають бетонні та залізобетонні конструкції, асфальтобетон, металеві елементи, деревина, пластмаси, скло та залишки будівельних матеріалів. Крім того, можуть утворюватися потенційно небезпечні компоненти, зокрема мастильні матеріали, паливо, залишки хімічних речовин і акумулятори, які потребують спеціальних умов поводження.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває формування ефективної системи поводження з відходами у транспортному секторі, яка повинна відповідати сучасним вимогам екологічної безпеки та принципам сталого розвитку. Така система має передбачати комплексний підхід до управління відходами, що включає їх ідентифікацію, облік, сортування, транспортування, переробку та утилізацію з урахуванням екологічних і економічних аспектів [3]. Важливим завданням є також впровадження сучасних технологій повторного використання матеріалів, розвиток інфраструктури переробки та забезпечення ефективної взаємодії між органами державної влади, суб'єктами господарювання та іншими учасниками процесу управління відходами. Реалізація таких підходів сприятиме зменшенню негативного впливу відходів на довкілля, підвищенню ефективності використання ресурсів та забезпеченню екологічно безпечного відновлення транспортної інфраструктури.

Одним із важливих напрямів удосконалення системи поводження з відходами є впровадження сучасних технологічних рішень, спрямованих на їх повторне використання та переробку. Зокрема, подрібнений бетон і цегла можуть застосовуватися як вторинна сировина у дорожньому будівництві або для виготовлення нових будівельних матеріалів. Металеві конструкції можуть спрямовуватися на переплавлення, а частина полімерних матеріалів – на вторинну переробку.

Підвищення ефективності системи поводження з відходами значною мірою залежить від удосконалення нормативно-правового забезпечення, яке має охоплювати всі ключові етапи процесу управління відходами руйнувань. Дослідження показують, що сучасне законодавство України у сфері управління відходами переважно фокусується на загальних положеннях щодо побутових та інших потоків сміття, тоді як специфіка відходів будівництва та руйнувань не повністю відображена у чинних нормах: відсутні окремі вимоги щодо їх обліку, класифікації, контролю, стимулювання переробки та використання вторинних ресурсів, що створює юридичні прогалини у регулюванні таких потоків [4]. Закон України «Про управління відходами» та підзаконні акти потребують доповнення саме у частині норм щодо управління відходами руйнувань, встановлення чітких процедур поводження з ними, а також механізмів відповідальності для суб'єктів господарювання й органів влади. Посилення контролю за дотриманням екологічних

вимог і розробка спеціальних нормативних документів для різних типів відходів руйнувань створюють умови для впровадження сучасних технологій їх переробки й повторного використання, що сприятиме мінімізації негативного впливу на довкілля.

На локальному рівні в Україні вже реалізуються ініціативи щодо впровадження технологій подрібнення та переробки відходів від руйнувань, що сприяє практичній реалізації принципів циркулярної економіки. У Дмитрівській територіальній громаді, зокрема, проводяться заходи щодо накопичення та організації обробки відходів руйнувань із використанням сучасних технічних рішень, що створює умови для їх подальшого застосування в дорожньому будівництві чи благоустрої. Такі ініціативи демонструють можливість впровадження ефективних технологій на рівні громад та сприяють зменшенню обсягів відходів, що підлягають захороненню.

Отже, ефективне поводження з відходами руйнувань у транспортному секторі є важливим чинником екологічної безпеки та сталого розвитку. Використання комплексного підходу, що включає сортування, переробку, повторне використання матеріалів та впровадження принципів циркулярної економіки, сприяє мінімізації негативного впливу на довкілля та раціональному використанню ресурсів. Це підвищує ефективність відновлення транспортної інфраструктури та забезпечує стійку екологічно безпечну практику у транспортній сфері. Реалізація запропонованих рекомендацій формує основу для довгострокового управління відходами та інтеграції екологічних принципів у діяльність транспортних підприємств.

Список використаної літератури

1. World Bank; Government of Ukraine; European Union; United Nations. Ukraine Third Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3): February 2022 – December 2023. Washington, DC: World Bank, 2024. <https://doi.org/10.1596/41082>
2. Нонік Л.Ю., Пацева І.Г. Небезпечні компоненти відходів руйнацій як виклик екологічній безпеці *Екологічні науки*. – 2025. – № 3(60). С. 168-173 https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/60/60_2025.pdf?utm_source=chatgpt.com
3. Zhang K., Qing Y., Umer Q., Asmi F. How construction and demolition waste management has addressed sustainable development goals: Exploring academic and industrial trends. *J. Environ. Manage.* – 2023. – Vol. 345. – P. 118823. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118823>
4. Sherstyuk V. Legal issues of construction waste as an object of environmental law regulations. *Law and Innovations*. – 2024. – Vol. 13, No. 3(47). – [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2024-3\(47\)-13](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2024-3(47)-13)

ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ПОДІЛЬСЬКОГО (БЕРДИЧЕВСЬКОГО) ЛВУМГ ТОВ «ОПЕРАТОР ГТС УКРАЇНИ»

Анотація. Розглянуто вплив на довкілля Подільського (Бердичівського) лінійного виробничого управління магістральних газопроводів.

Ключові слова: магістральний газопровід, довкілля, атмосферне повітря, забруднювальні речовини.

Важливим чинником, що впливає на екологічну ситуацію у Житомирській області, є викиди у довкілля забруднювальних речовин, що в основному надходять від промислових підприємств, енергетичних об'єктів та автомобільного транспорту. Попри те, що за статистичними даними [1] Житомирщина належить до областей України із найменш забрудненою атмосферою, проблема викидів шкідливих речовин у повітря в регіоні залишається актуальною.

За даними Департаменту екології та природних ресурсів Житомирської обласної військової адміністрації [1] загальна кількість викидів від стаціонарних джерел у атмосферне повітря в регіоні у 2024 році склала 8,54 тис. т. Серед основних забруднювальних речовин: оксид вуглецю (майже 16 %), сполуки азоту (15 %), а також сполуки сірки (понад 6 %). Суб'єктами господарювання, які здійснюють найбільші викиди в атмосферу, багато років залишаються Подільське (Бердичівське) ЛВУМГ ТОВ «Оператор ГТС України» (майже 10 % від загального обсягу викидів від стаціонарних джерел), ТОВ «ОБЛО» (понад 7 %) і ТОВ «АГРОВЕСТ ГРУП» (майже 6 %).

ТОВ «Оператор ГТС України» є українською компанією, яка відповідає за експлуатацію, технічне обслуговування і розвиток газотранспортної системи нашої держави. ГТС – мережа великих магістральних газопроводів, якими природний газ транспортується територією України, а також до країн Європи [2]. Основним видом діяльності ТОВ «Оператор ГТС України» є трубопровідний транспорт. Подільське (Бердичівське) лінійне виробниче управління магістральних газопроводів є одним з восьми структурних підрозділів ТОВ «Оператор ГТС України», який відповідає за обслуговування та експлуатацію магістральних газопроводів.

Подільське (Бердичівське) ЛВУМГ ТОВ «Оператор ГТС України» [1] належить до об'єктів, що становлять екологічну небезпеку на території Житомирської області. Основний негативний вплив підприємство здійснює на атмосферне повітря. Джерелами впливу на атмосферне повітря є робота газових турбін компресорних установок, які працюють на природному газі, а також допоміжні генератори і транспорт, що рухається територією підприємства. Викиди Подільського (Бердичівського) ЛВУМГ ТОВ «Оператор ГТС України» в основному складаються з оксидів азоту, оксиду і діоксиду вуглецю, метану. Інформацію щодо кількісних показників викидів підприємства надано в таблиці 1.

**Викиди в атмосферне повітря Подільського (Бердичівського) ЛВУМГ
ТОВ «Оператор ГТС України» у 2022 – 2024 роках [1, 3]**

Рік	2022	2023	2024
Викид, т/ рік	1590,182	324,823	819,041

Також екологічно небезпечними є викиди газу і виділення в атмосферу метану, який є потужним парниковим газом. Ще одним негативним аспектом функціонування Подільського ЛВУМГ є значний шумовий вплив на довкілля, що виникає при роботі газотранспортної системи і компресорних станцій.

Джерелами негативного впливу суб'єкта господарювання на водні об'єкти і ґрунти є жиrowі (масляні) відходи з компресорних агрегатів і дощові стоки з майданчиків підприємства.

ТОВ «Оператор ГТС України» формує і реалізує єдину комплексну політику з питань охорони навколишнього природного середовища і мінімізації негативного впливу на довкілля при провадженні виробничої діяльності. Вказана екологічна політика спрямована на [4]:

- зменшення викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря;
- забезпечення раціонального використання природних ресурсів;
- забезпечення раціонального поводження з відходами і впровадження заходів з мінімізації обсягів їх утворення;
- впровадження системи екологічного моніторингу.

Список використаної літератури

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2024 році. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202024.pdf> (дата звернення 17.03.26 р.)
2. Газотранспортна система України. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Газотранспортна_система_України#ТОВ_Оператор_ГТС_України (дата звернення 17.03.26 р.)
3. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2023 році. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202023.pdf> (дата звернення 17.03.26 р.)
4. Екологічна політика ТОВ «Оператор ГТС України». URL: <https://tsoua.com/wp-content/uploads/2021/10/Ekologichna-polityka.pdf> (дата звернення 17.03.26 р.)

Науковий керівник В. Л. Клевська

ВПЛИВ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ РОСЛИННИХ ОЛІЙ НА ВЛАСТИВОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Анотація. *Біодизельні палива мають певні переваги у порівнянні з дизельними паливами нафтовою походження. Зокрема, це стосується їх екологічних властивостей та здатності до біологічного відновлення рослинної сировини та сумісність з нафтовим дизельним паливом. У виробництві біодизелю зазвичай використовують метанол, а також етиловий спирт. Проведено аналіз літературних даних для узагальнення впливу естерів рослинних олій на властивості дизельних палив, що впливають на роботу і потужність дизельних двигунів. На основі проведеного аналізу літературних даних показано, що етилові естери жирних кислот рослинних олій мають кращу теплоту згорання та екологічні показники дизельних двигунів.*

Ключові слова: естери жирних кислот, рослинні олії, біодизельне паливо, густина, екологічні властивості.

У процесі експлуатації дизельної техніки важливими є як експлуатаційні властивості, так і екологічні. При зниженні експлуатаційних властивостей дизельних палив виникають відмови у роботі двигунів та паливних систем. Біодизельне паливо характеризується кращими екологічними та змащувальними властивостями порівняно з традиційним дизельним паливом [1]. Біодизельні палива можуть бути застосовані як додатки до дизельного палива нафтового походження.

На екологічні характеристики дизельного двигуна впливає додавання естерів жирних кислот рослинних олій до традиційних дизельних палив. Суміші традиційного дизельного палива та біодизельного палива є досить поширеними паливними для їх використання у дизельних двигунах. При додаванні 15–20 % естерів жирних кислот до традиційного дизельного палива знижуються викиди CO, CO₂, CH₄, оксидів азоту і димність, що позитивно впливає на навколишнє середовище. Необхідно зазначити, що викиди після згорання біодизельного палива залежать від вмісту жирних кислот в естерах. При цьому, чим більший вміст ненасичених молекул у біодизелі, тим більшим буде вміст CO, CH₄ та оксидів азоту у відпрацьованих газах. Також, для оцінки потужності та екологічних показників при роботі дизельного двигуна на біодизелі та його сумішах з традиційним дизельним паливом, були проведені стендові випробування при різних режимах роботи дизельного двигуна, які є імітацією його експлуатації у реальних умовах [2].

Також, питома теплота згорання зростає із збільшенням вуглеводного ланцюга спиртової групи в естерах жирних кислот рослинних олій. Це явище можна пояснити підвищеним вмістом вуглецю у молекулах естерів, але питома теплота згорання зменшується при збільшенні ненасиченості, завдяки меншому вмісту водню. Необхідно зазначити, що питома теплота згорання дизельного палива

нафтового походження є більшою за питому теплоту згорання біодизельних палив, оскільки у біодизелді міститься приблизно 10 % кисню.

Цетанове число традиційного дизельного палива зазвичай становить 45–50 одиниць, однак його значення можна коригувати за допомогою спеціальних додатків. У свою чергу, біодизельне паливо характеризується вищим цетановим числом, яке становить понад 50 одиниць. При змішуванні біодизелю з традиційним дизельним паливом спостерігається зростання цетанового числа отриманої суміші. Це означає, що зі збільшенням частки біодизелю у складі дизельного палива нафтового походження підвищується цетанове число їхньої суміші.

Одним із важливих параметрів палива є в'язкість, яка визначає його здатність проходити через паливну систему і розпилюватися в циліндрі двигуна. Надмірно висока в'язкість негативно впливає на роботу паливного насоса та спричиняє його підвищене зношування. Покращення якості естерів жирних кислот рослинних олій можна досягти шляхом використання спиртів із більшими молекулярними масами в процесі переестерифікації. Це сприяє зниженню температури застигання. Крім того, збільшення ненасиченості олійної сировини також позитивно впливає на змащувальні властивості палива й знижує температуру застигання. Однак це може мати й певні недоліки, наприклад, погіршення цетанового числа та зниження окиснювальної стабільності [3].

Що стосується низькотемпературних властивостей, як традиційного дизельного палива, так і біодизелю, вони залежать від хімічного складу. Для експлуатації таких палив у холодних кліматичних умовах необхідно модифікувати їхній склад або використовувати депресорні присадки. Біодизель може помутнішати і почине застигати при зниженні температури, але після її підвищення він повертається до попереднього стану.

Отже, при виготовленні біодизельного палива доцільно змішувати різні типи естерів жирних кислот рослинних олій для досягнення екологічних та оптимальних експлуатаційних властивостей. Загалом, біодизель має перевагу у вигляді кращих екологічних властивостей, змащувальних характеристик і вищого цетанового числа у порівнянні з традиційним дизельним паливом.

Список використаної літератури

1. Issariyakul, T., Dalai, A. K., & Desai, P. (2011). Evaluating esters derived from mustard oil (*Sinapis alba*) as potential diesel additives. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(3), 391–402.
2. Patrylak, L. K., Patrylak, K. I., Okhrimenko, M. V., Ivanenko, V. V., Zubenko, S. O., Levterov, A. M., Marakhovskiy, V. P., & Savitskiy, V. D. (2013). Ethanol containing ethyl esters of fatty acids as perspective environment like fuel. *Fuel*, 113, 650–653.
3. Зубенко С. О., Патриляк Л. К., Коновалов С. В. Порівняння фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей біодизельного палива на основі метанолу та біоспиртів. *Каталіз і нафтохімія*. 2018. № 27. С. 1–18.

Науковий керівник – І. Л. Трофімов, к.т.н., доц.

ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Анотація. У роботі представлено результати матричної оцінки природних ризиків для об'єктів критичної інфраструктури Сумської області від природних загроз. Оцінювання здійснено на основі визначення імовірності виникнення небезпечних явищ та тяжкості їх наслідків. Встановлено, що найвищий рівень ризику формують повені та паводки, підвищений – зимові екстремальні явища. Обґрунтовано пріоритетні напрями підвищення стійкості інфраструктури регіону.

Ключові слова: критична інфраструктура, природні загрози, оцінка ризику, метеорологічні явища, електропостачання

Сумська область характеризується поєднанням гідрологічних, кліматичних та інфраструктурних чинників, які визначають рівень вразливості об'єктів критичної інфраструктури. Територія регіону належить до басейну Дніпра, має розгалужену мережу річок Псел, Ворскла, Сейм, Десна, а також значну кількість водосховищ і ставків. Весняні паводки, інтенсивні опади, сильні снігопади, ожеледь, шквальні вітри та періоди маловоддя створюють комплекс природних загроз, що можуть призводити до порушення функціонування систем енергопостачання, водопостачання, транспорту та соціальної інфраструктури.

Критична інфраструктура Сумської області охоплює об'єкти паливно-енергетичного комплексу, системи централізованого водопостачання та водовідведення, транспортну мережу, заклади охорони здоров'я, зв'язку та органи управління. Значна частина інженерних мереж має високий рівень фізичного зносу, що підвищує їхню чутливість до екстремальних природних впливів. Територіальне розташування окремих об'єктів у заплавах річок та зонах потенційного підтоплення додатково збільшує ризик порушення безперервності функціонування систем життєзабезпечення населення.

Оцінювання ризиків здійснювалося за інтегральною моделлю $R = P \times C$, де R є інтегральним показником ризику, P — імовірністю виникнення небезпечного явища, а C — тяжкістю його наслідків. Імовірність визначалася на основі повторюваності небезпечних явищ у регіоні та їх сезонної закономірності. Тяжкість наслідків оцінювалася з урахуванням масштабу впливу на системи життєзабезпечення, тривалості відновлення та потенційної міжсекторальної залежності.

Функціонування зазначених об'єктів має системний характер, оскільки більшість із них є взаємопов'язаними та залежними один від одного. Порушення роботи енергетичної інфраструктури може призвести до зупинки насосних станцій, систем водопостачання, медичних закладів і транспортних вузлів, що формує каскадний ефект. З огляду на прикордонне розташування області та стратегічне

значення її транспортних і енергетичних комунікацій, забезпечення стійкості критичної інфраструктури є ключовою умовою безпеки населення та стабільного соціально-економічного розвитку регіону.

Для оцінки ризиків було запропонований метод експертних оцінок та матричний підхід (табл. 1-3). В табл. 1 запропоновано 5-ти рівневу шкалу оцінювання імовірності виникнення небезпечного явища (Р) Шкала оцінювання тяжкості наслідків описую потенційні наслідки від незначних до критичних для системи.

Таблиця 1

Шкала оцінювання імовірності виникнення небезпечного явища (Р)

Бал	Характеристика імовірності	Критерій повторюваності
1	Дуже низька	Рідше ніж 1 раз на 10 років
2	Низька	1 раз на 5–10 років
3	Середня	1 раз на 2–5 років
4	Висока	Щорічно або майже щорічно
5	Дуже висока	Кілька разів на рік

Таблиця 2

Шкала оцінювання тяжкості наслідків (С)

Бал	Рівень наслідків	Характер впливу
1	Незначні	Локальні порушення без зупинки систем
2	Помірні	Тимчасові перебої, швидке відновлення
3	Суттєві	Порушення роботи окремих секторів
4	Серйозні	Зупинка функціонування важливих систем
5	Критичні	Каскадні ефекти, тривале порушення життєзабезпечення

Інтегральний показник від 1 до 5 відповідає низькому рівню ризику, від 6 до 10 — помірному, від 11 до 15 — середньому, від 16 до 20 — високому, понад 20 — критичному рівню.

Розрахунки показали, що найбільший вплив на критичну інфраструктуру Сумської області мають повені та паводки. Імовірність їх виникнення оцінена як висока (4 бали), а тяжкість наслідків для об'єктів у заплавах річок — як серйозна або критична (4–5 балів). Інтегральний ризик становить 16–20 балів, що відповідає високому рівню.

Таблиця 3

Матриця ризику ($R = P \times C$)

P \ C	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

Потенційні наслідки включають підтоплення насосних станцій, пошкодження транспортної інфраструктури та обмеження доступу аварійних служб. Снігові хуртовини та ожеледь формують середній або високий рівень ризику для енергетичних систем. Імовірність їх виникнення оцінюється в 3–4 бали, тяжкість наслідків — у 3–4 бали, що дає інтегральний показник 12–16 балів. Уразливими залишаються повітряні лінії електропередач, а порушення електропостачання може спричиняти каскадні ефекти для інших секторів. Шквальні вітри мають середню імовірність і суттєву тяжкість наслідків, інтегральний ризик перебуває в межах 9–12 балів і відповідає середньому рівню. Посухи характеризуються помірно імовірністю та переважно середньою тяжкістю наслідків, інтегральний показник становить 6–9 балів.

Аналіз свідчить, що найбільш вразливими секторами є системи водопостачання та енергетика. Зношеність мереж підвищує чутливість до екстремальних природних впливів і збільшує тяжкість можливих наслідків. Використання матричної моделі дозволяє формалізувати процес оцінювання, визначити пріоритетні напрями модернізації інфраструктури та підвищення стійкості. Загальний рівень природної небезпеки Сумської області оцінюється як середній із локальними зонами високого ризику, що потребують першочергових заходів захисту.

Список використаної літератури

1. Закон України «Про критичну інфраструктуру». Відомості Верховної Ради України. 2021. № 27.
2. Гідрометеорологічні умови Сумської області: аналітичний огляд. Сумський обласний центр з гідрометеорології. Суми, 2021.
3. UNDRR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
4. OECD. (2019). Good Governance for Critical Infrastructure Resilience. Paris: OECD Publishing.

СЕКЦІЯ 3

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА, ТЕРИТОРІЙ ТА АКВАТОРІЙ

УДК 504.06(043.2)

С.Є. Александрова, студентка
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН м. КИЇВ

Анотація. У матеріалі розглянуто сучасні тенденції зміни клімату в Україні та їхній вплив на екологічний стан урбанізованих територій, зокрема міста Києва. Проаналізовано багаторічні кліматичні спостереження, які свідчать про стале підвищення середньорічної температури повітря та збільшення частоти екстремальних погодних явищ. Визначено основні наслідки кліматичних змін для міського середовища: формування ефекту «теплого острова», погіршення якості атмосферного повітря, ризику підтоплень і деградації водних ресурсів. Значну увагу приділено аналізу впливу кліматичних параметрів на природні та антропогенні системи. Окреслено ключові напрями адаптації до змін клімату, серед яких підвищення енергоефективності, розвиток екологічного транспорту та розширення зелених зон. Підкреслено важливість статистичного аналізу кліматичних даних і використання графічних методів для прогнозування подальших змін та розроблення ефективних природоохоронних заходів.

Ключові слова: зміна клімату, урбанізовані території, ефект «теплого острова», екологічний стан, адаптація до кліматичних змін

Зміна клімату є однією з найсерйозніших глобальних загроз сучасності. В Україні спостерігається стале підвищення середньорічної температури повітря, зміна режиму опадів та зростання частоти екстремальних погодних явищ.

За період 1991–2022 рр. середні літні температури зросли на 1,3 °С, зимові – на 0,9 °С. Лінійний тренд зміни температури описується рівнянням $y = 0,0606x + 8,2818$ ($R^2 = 0,8332$), що свідчить про високу достовірність моделі.

Для м. Києва кліматичні зміни проявляються у підвищенні теплового навантаження в літній період, погіршенні якості атмосферного повітря, зростанні ризику підтоплень та збільшенні кількості ландшафтних пожеж.

Пріоритетними напрямами кліматичної стратегії є підвищення енергоефективності будівель, розвиток екологічного транспорту, розширення зелених зон та впровадження систем моніторингу кліматичних показників.

Важливим аспектом дослідження кліматичних змін є аналіз їхнього впливу на природні та антропогенні системи. Підвищення температури повітря та зміна режиму опадів можуть призводити до трансформації природних ландшафтів, зміни водного балансу територій та погіршення стану атмосферного повітря. За даними досліджень, на території України спостерігається тенденція до поступового

підвищення середньорічної температури повітря, що підтверджується результатами багаторічних спостережень метеорологічних станцій.

Урбанізовані території є особливо вразливими до кліматичних змін. У великих містах формується так званий ефект «теплого острова», який пов'язаний з високою щільністю забудови, значною кількістю асфальтових та бетонних поверхонь, а також інтенсивним транспортним рухом. У таких умовах температура повітря в межах міста може бути на кілька градусів вищою, ніж на прилеглих природних територіях. Це, у свою чергу, впливає на стан атмосферного повітря та комфортність проживання населення.

Для міста Києва проблема зміни клімату є особливо актуальною. Підвищення температури повітря у літній період сприяє накопиченню забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери та погіршенню санітарно-гігієнічних умов проживання населення. Дослідження показують, що в місті спостерігаються просторово-часові зміни рівня забруднення атмосферного повітря, що зумовлено як природними факторами, так і антропогенним навантаженням.

Крім того, зміни клімату можуть впливати на водні об'єкти міста та прилеглих територій. Підвищення температури повітря та зміна кількості опадів можуть призводити до зміни гідрологічного режиму водойм, а також до погіршення їх екологічного стану. Водні ресурси відіграють важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги міських екосистем та формуванні мікроклімату території [11]. Для зменшення негативних наслідків кліматичних змін необхідно впроваджувати комплексні заходи адаптації. До таких заходів належать підвищення енергоефективності будівель, розвиток екологічно безпечного транспорту, зменшення обсягів викидів забруднювальних речовин та розширення площі зелених насаджень. Зелені зони відіграють важливу роль у регулюванні температурного режиму міста, очищенні атмосферного повітря та покращенні екологічних умов проживання населення.

Таким чином, дослідження впливу кліматичних параметрів на екологічний стан міста Києва є важливим напрямом сучасних наукових досліджень. Аналіз кліматичних тенденцій та їхніх наслідків дозволяє визначити основні екологічні ризики та розробити ефективні заходи щодо адаптації міського середовища до змін клімату.

Окрему увагу слід приділити аналізу статистичних даних кліматичних спостережень. Вивчення багаторічних рядів температури повітря та кількості опадів дозволяє визначити основні тенденції кліматичних змін на території України. За результатами досліджень встановлено, що протягом останніх десятиліть спостерігається поступове підвищення середньорічної температури повітря, а також збільшення частоти екстремальних погодних явищ, таких як хвилі спеки, сильні зливи та посушливі періоди.

Такі зміни можуть мати суттєвий вплив на функціонування природних екосистем і господарську діяльність людини. Підвищення температури повітря призводить до змін у гідрологічному режимі водойм, впливає на стан ґрунтів та рослинності, а також може сприяти зростанню рівня забруднення атмосферного повітря у великих містах. В умовах урбанізованих територій ці процеси

посилиються через високу щільність забудови та інтенсивний антропогенний вплив.

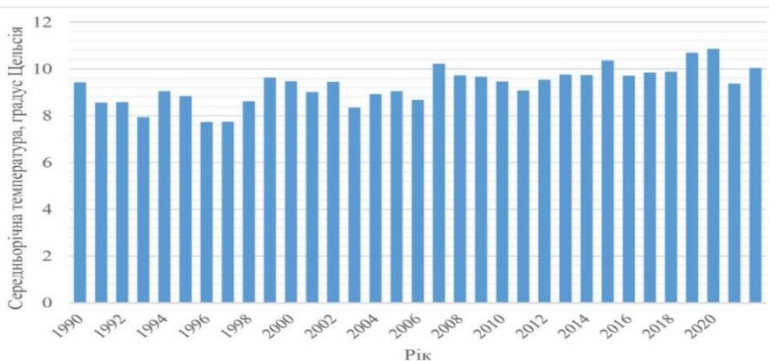


Рис. 1.4. Графік динаміки середньорічної температури в Україні (з 1990 по 2022 роки)

Для більш наочного відображення тенденцій кліматичних змін використовують графічні методи аналізу даних. Побудова графіків температури повітря за багаторічний період дозволяє виявити загальну тенденцію до потепління та оцінити швидкість цих змін. Приклад такого графіка наведено нижче.

Такий аналіз дозволяє зробити висновок, що кліматичні зміни є важливим фактором, який впливає на екологічний стан територій. Тому подальші дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані на детальне вивчення кліматичних тенденцій, прогнозування їхніх наслідків та розроблення ефективних заходів адаптації до змін клімату.

Список використаної літератури

1. Бабіченко В.М., Ніколаєва Н.В., Гущина Л.М. Зміни температури повітря на території України наприкінці XIX століття. Український географічний журнал. 2007. №4. С. 3–12.
2. Осадчий В.І. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. Український географічний журнал. 2018. №4. С. 32–39.
3. Степаненко С.М. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
4. Бойченко С.Г., Забарна О.Г. Оцінювання комфортності погодних умов і тенденції їх змін на Київщині. Геофизический журнал. 2019. Т.41. №6. С.128–143.
5. Вишневський В.І., Колісник І.А. Просторово-часові особливості забруднення атмосферного повітря в Києві. Праці ЦГО. 2021. Вип.17 (31). С.27–40.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Жукова О.Г.

ВПЛИВ ПОГОДНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТСЬКИХ СЕРЕДОВИЩ

Анотація. Шляхом аналізу зібраних даних встановлено характер залежності концентрації основних поллютантів атмосферного повітря у правобережній частині міста Київ від базових погодних показників. Виявлено негативну кореляцію вмісту у повітрі твердих частинок зі швидкістю вітру та швидкістю поривів вітру. Зафіксована велика негативна кореляція запиленості повітря з опадами у вигляді дощу. Кореляція CO і SO_2 з величиною опадів помірна негативна.

Ключові слова: екологічна безпека, погодні фактори, урбанізована територія, коефіцієнт кореляції, концентрація поллютантів.

Багаточисельні дослідження, проведені вченими усього світу протягом останніх десятиліть, дозволили оцінити ризики для людей, спричинені забрудненням атмосферного повітря. Також у великій мірі з'ясовані механізми і наслідки впливу основних поллютантів на здоров'я людей. Є підстави вважати, що "універсальними" поллютантами атмосферного повітря є пилові (тверді) частинки. Таке визначення для них обґрунтовується тим, що вони у більшій або меншій концентрації фіксуються у повітрі будь-якої місцевості. Навіть, якщо на певній місцевості немає штучних джерел пилу, негативну роль можуть відігравати природні джерела цієї місцевості, або транскордонний перенос пилових мас з інших територій. Однак, якщо розглядати урбанізовані території, то основним джерелом походження поллютантів повітря є об'єкти антропогенного походження.

Метою дослідження було визначення закономірностей поширення та накопичення забруднюючих речовин у атмосферному повітрі на територіях великих міст України на прикладі правобережної частини міста Київ.

Дослідження проводилося шляхом збору, математичної обробки та аналізу даних про фактичне забруднення атмосферного повітря та погодні показники у місті Київ з відкритих джерел.

Обрання Києва у якості досліджуваного міста пов'язане головним чином з тим, що на його території розміщено близько ста станцій моніторингу (MS). Не всі вони характеризуються стабільною у часі роботою та необхідним переліком вимірюваних величин. Однак, у якості контрольних виявилось нескладно обрати десять станцій, котрі відносно рівномірно розташовані по правобережній частині міста та подають дані по необхідним поллютантам і погодним показникам (MS-1 – пр. Правди, 64г; MS-2 – вул. Оболонська Набережна, 7, к1; MS-3 – вул. Сирецька, 33; MS-4 – вул. Перемоги, 97; MS-5 – вул. Турівська, 28; MS-6 – вул. Карла Чапека, 11; MS-7 – вул. Героїв Севастополя, 3; MS-8 – вул. Якутська, 10; MS-9 – вул. Кахи Бендুকідзе, 2; MS-10 – вул. Князів Острозьких, 39а).

Розуміючи, що окрім природних факторів на вміст забруднювачів у повітрі суттєво впливає людська діяльність, збір даних носив циклічний характер і проводився з 0 годин понеділка до 24 години неділі. Тобто цикл спостережень – повний тиждень. Це має сприяти врахуванню усіх можливих факторів людської діяльності, які також мають тижневий цикл. Дані фіксувалися з інтервалом у 1 годину. Тобто у одному циклі спостережень було 169 дослїдних значень кожної величини. Кожного місяця проводився один тижневий цикл. Спостереження проводилося протягом одного року.

Концентрація твердих частинок фіксувалася на всіх десяти станціях моніторингу. Окрім того, на MS-1, MS-4 та MS-5 також з одногодинним інтервалом фіксувалися концентрації чадного газу та діоксиду сірки. У якості погодних факторів розглядалися температура повітря t (°C), вологість H (%), атмосферний тиск P (мм. рт. ст), швидкість вітру v (м/с), швидкість поривів вітру w (м/с), хмарність Cl (бали), опади R (мм).

Як з'ясувалося, для концентрації $PM_{2,5}$ та PM_{10} неможливо прослїдувати чіткої добової циклічності та явної залежності від погодних умов. Тому були застосовані методи статистичного аналізу – пошук кореляції між вмістом полїютантів у повітрі і погодними факторами. Для цього використовувався коефіцієнт Пірсона, який вимірює кореляцію між двома наборами даних [1]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

де n – розмір вибірки (для кожного циклу $n = 169$);

x_i, y_i – окремі точки вибірки;

\bar{x}, \bar{y} – середні значення.

Для того, щоб бути впевненими, що значення коефіцієнта Пірсона не є результатом випадкового збігу обставин, визначалося його критичне (порогове) значення $r_{кр}$ для рівня значущості 0,05. Оскільки розмір вибірки для всіх величин однаковий ($n = 169$), то ступінь свободи $df = n - 2 = 167$. Скориставшись бібліотекою Rython, отримано, що для $df = 167$ $r_{кр} = 0,151$. Отже, з імовірністю 95% значення $|r| > 0,151$ не є результатом випадковості, а свідчать про наявність статистично значущого зв'язку.

У якості прикладу в таблицях 1 і 2 наведені результати для коефіцієнта Пірсона, розраховані щодо показників MS-10. Для кожної пори року, приведеним у таблиці парам фізичних величин, відповідає три значення r (по одному для кожного місяця). Розгляд отриманих результатів дозволяє констатувати сильну позитивну кореляцію між $PM_{2,5}$ та PM_{10} , що цілком збігається з результатами інших авторів [2, 3] та є очікуваним, зважаючи на те, що $PM_{2,5}$ є складовою PM_{10} .

Як і в [3] для землі Баден-Вюртемберг (Німеччина), достовірної та однозначної залежності концентрації $PM_{2,5}$ та PM_{10} від температури повітря не виявлено. Разом з тим, у [4] для Західної Бенгалії така залежність зафіксована з $r = -0,605$. Очевидно, що така невідповідність може бути пов'язана опосередкованим впливом погодних умов. В Індії при зменшенні температури збільшується використання дров, яке при спалюванні є джерелом твердих частинок, а в європейських містах такого причинно-наслідкового зв'язку немає. Так само, значне зменшення тиску в умовах

субтропічного мусонного клімату Бангладеш [2] і частини території Китаю [5] призводить до підвищення вірогідності опадів і відповідно до ймовірного зменшення кількості поллютантів у повітрі. У помірному кліматі коливання атмосферного тиску значно менше і не завжди призводить до опадів, тому кореляція його з забрудненням однозначно не встановлена.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції для MS10 по PM_{2,5} та PM₁₀ з погодними показниками (частина1)

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Темпе- ратура	Воло- гість	Тиск	
03-09.06.2024 / 08-14.07.2024 / 12-18.08.2024						
PM ₁₀	X	0,932	-0,103	0,084	0,364	
	X	0,943	-0,086	0,179	-0,477	
	X	0,959	-0,113	-0,137	-0,543	
PM _{2,5}	0,932	X	-0,249	0,255	0,348	
	0,943	X	-0,106	0,275	-0,427	
	0,959	X	-0,283	0,042	-0,607	
09-15.09.2024 / 14-20.10.2024 / 04-10.11.2024						
PM ₁₀	X	0,838	-0,119	0,151	-0,124	
	X	0,951	-0,732	0,693	-0,007	
	X	0,980	0,424	0,018	0,112	
PM _{2,5}	0,838	X	-0,209	0,339	-0,249	
	0,951	X	-0,848	0,839	-0,123	
	0,980	X	0,416	0,131	0,156	
16-22.12.2024 / 13-19.01.2025 / 10-16.02.2025						
PM ₁₀	X	0,963	-0,326	-0,380	0,356	
	X	0,959	-0,099	-0,651	-0,264	
	X	0,939	0,334	-0,137	0,138	
PM _{2,5}	0,963	X	-0,408	-0,189	0,281	
	0,959	X	-0,071	-0,503	-0,265	
	0,939	X	0,172	0,106	0,249	
10-16.03.2025 / 14-20.04.2025 / 12-18.05.2025						
PM ₁₀	X	0,978	0,278	-0,321	0,025	
	X	0,942	-0,124	0,341	-0,305	
	X	0,893	0,432	-0,601	0,023	
PM _{2,5}	0,978	X	0,209	-0,201	0,002	
	0,942	X	-0,325	0,533	-0,178	
	0,893	X	0,227	-0,326	-0,034	
03-09.06.2024 / 08-14.07.2024 / 12-18.08.2024						
PM ₁₀	X	0,932	-0,012	-0,483	0,260	-0,108
	X	0,943	0,370	0,067	0,067	-0,009
	X	0,959	-0,254	-0,466	0,050	0,089
PM _{2,5}	0,932	X	0,056	-0,523	0,206	-0,202
	0,943	X	0,374	0,153	-0,166	-0,039
	0,959	X	-0,354	-0,602	0,051	-0,011

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції для MS10 по PM_{2,5} та PM₁₀ з погодними показниками (частина 2)

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Швидкість вітру	Швидкість поривів вітру	Напрямок вітру	Хмарність
03-09.06.2024 / 08-14.07.2024 / 12-18.08.2024						
PM ₁₀	X	0,932	-0,012	-0,483	0,260	-0,108
	X	0,943	0,370	0,067	0,067	-0,009
	X	0,959	-0,254	-0,466	0,050	0,089
PM _{2,5}	0,932	X	0,056	-0,523	0,206	-0,202
	0,943	X	0,374	0,153	-0,166	-0,039
	0,959	X	-0,354	-0,602	0,051	-0,011
09-15.09.2024 / 14-20.10.2024 / 04-10.11.2024						
PM ₁₀	X	0,838	-0,092	-0,106	0,002	0,236
	X	0,951	-0,412	-0,619	0,120	0,336
	X	0,980	-0,175	-0,175	-0,078	-0,351
PM _{2,5}	0,838	X	-0,251	-0,282	-0,085	0,296
	0,951	X	-0,474	-0,754	0,079	0,321
	0,980	X	-0,209	-0,210	-0,056	-0,387
16-22.12.2024 / 13-19.01.2025 / 10-16.02.2025						
PM ₁₀	X	0,963	-0,246	-0,486	-0,078	0,163
	X	0,959	-0,028	-0,062	-0,013	-0,012
	X	0,939	-0,046	-0,146	-0,061	0,169
PM _{2,5}	0,963	X	-0,309	-0,567	-0,093	0,172
	0,959	X	-0,020	-0,102	-0,041	0,019
	0,939	X	-0,067	-0,218	-0,117	0,232
10-16.03.2025 / 14-20.04.2025 / 12-18.05.2025						
PM ₁₀	X	0,978	-0,094	-0,263	0,024	-0,215
	X	0,942	-0,245	-0,440	0,053	-0,285
	X	0,893	0,114	0,360	-0,009	-0,463
PM _{2,5}	0,978	X	-0,135	-0,313	0,017	-0,197
	0,942	X	-0,248	-0,456	0,038	-0,208
	0,893	X	0,059	0,239	-0,006	-0,352

Дослідження дозволили констатувати: слабку/помірну негативну кореляцію запиленості повітря зі швидкістю вітру та помірну/велику негативну кореляцію зі швидкістю поривів вітру, а також відсутність кореляції з його напрямком; неможливість встановити кореляції запиленості повітря з атмосферним тиском, вологістю, хмарністю та температурою; дуже велику негативну кореляцію запиленості повітря з величиною опадів у вигляді дощу (числові дані щодо кореляції з величиною опадів у таблицях не наведені).

Встановлено чітку добову циклічність концентрації чадного газу в атмосферному повітрі та дуже велику кореляцію між різними, навіть віддаленими,

районами міста за цим показником, а також кореляцію (від помірної до дуже великої) концентрації чадного газу із запиленістю повітря. Такий результат свідчить про існування спільних антропогенних джерел чадного газу і твердих частинок. Кореляція концентрації чадного газу з величиною опадів негативна помірною.

Встановлено відсутність добової циклічності концентрації діоксиду сірки в атмосферному повітрі та кореляція (від помірної до дуже великої) між різними районами міста за цим показником, а також відсутність кореляцій концентрацій діоксиду сірки з чадним газом та запиленістю. Кореляція з величиною опадів негативна (від помірної до дуже великої).

Таким чином, отримані результати та їх порівняння з аналогічними даними для інших урбанізованих територій світу свідчить, що зміна одного й того ж погодного фактору для різних регіонів може мати не тільки різний кількісний, а і різний якісний вплив на екологічну безпеку повітря. Це пов'язано з тим, що вплив може бути як прямим, так і опосередкованим, коли зміна погоди призводить до збільшення або зменшення антропогенного навантаження. Тому автоматичне поширення закономірностей, виявлених для мегаполісів у одних країнах (регіонах), на мегаполіси інших країн (регіонів) може призвести до помилкових висновків.

Список використаної літератури

1. Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* (Vol. 663). Boston: Houghton Mifflin. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1944963>
2. Khan, R. H., Quayyum, Z., & Rahman, S. (2023). A quantitative assessment of natural and anthropogenic effects on the occurrence of high air pollution loading in Dhaka and neighboring cities and health consequences. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1509. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-12046-3?fromPaywallRec=false>
3. Hoffmann, L., Gilardi, L., Schmitz, M. T., Erbertseder, T., Bittner, M., Wüst, S., ... & Rittweger, J. (2024). Investigating the spatiotemporal associations between meteorological conditions and air pollution in the federal state Baden-Württemberg (Germany). *Scientific Reports*, 14(1), 5997. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-56513-4>
4. Ghosh, B., Barman, H. C., & Padhy, P. K. (2023). Analysis of spatiotemporal distribution of air quality index (AQI) in the state of West Bengal, India from 2016 to 2021. *Discover Atmosphere*, 1(1), 1. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44292-023-00001-3>
5. Liu, Y., Zhou, Y., & Lu, J. (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific reports*, 10(1), 14518. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-71338-7?fromPaywallRec=false>

ОЦІНКА ДЕЯКИХ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ПЕРЕЧИНСЬКОГО РАЙОНУ

Анотація. У роботі наведено результати гіdroхімічного дослідження природних джерел води Перечинського району. Було визначено такі показники якості води як, БСК₅, ХСК, вміст нітратів, нітритів та іонів-амонію. Актуальність дослідження зумовлена виявленням ознак фекального забруднення в одному з джерел, що викликає занепокоєння щодо безпечності використання води для питних потреб. Проведений аналіз дозволив оцінити відповідність води нормативам ГДК, щодо досліджуваних показників.

Ключові слова: природні джерела, якість води, гіdroхімічні показники, ГДК, екологічна безпека.

У межах Перечинського району значна частина населення використовує джерельну воду без попереднього очищення, що зумовлює необхідність контролю її якості з точки зору безпеки для здоров'я населення. Потреба вивчення природних джерел в селах Сімер, Перечин та Зарічево посилилася після проведення декількох незалежних бактеріологічних досліджень під час яких було виявлено фекальне забруднення. У зв'язку з цим було проведено гіdroхімічне дослідження даних джерел за обраними показниками. За результатами проведеного аналізу було встановлено: «срібне» джерело яке розташоване в с. Сімер має перевищення вмісту нітритів, нітратів та іонів-амонію, що в свою чергу підтверджує наявність фекального забруднення. Джерело «Три ведмеді» відповідає всім нормам по відношенню до обраних показників. Джерело в с.Зарічево має незначне перевищення показника БСК₅, що свідчить про підвищений вміст органічних речовин. Отримані результати свідчать про те, що окремі досліджувані джерела можуть становити потенційну небезпеку для здоров'я населення і підтверджує необхідність систематичного контролю та інформування населення щодо безпечності їх використання.

АНАЛІЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ ЗА 2025 РІК

Анотація. *Екологічний стан Донецького регіону, особливо якість атмосферного повітря, перебуває у критичному стані. До початку бойових дій основне навантаження на довкілля припадало на великі промислові підприємства.. Особливі ризики зумовлювали металургійні, видобувні та електроенергетичні виробництва, які характеризуються високим рівнем забруднення довкілля. Ситуація значно погіршилася з квітня 2014 року, коли наслідки воєнних дій стали відчутними для екології регіону. Починаючи з повномасштабної російської агресії 24 лютого 2022 року, стан атмосфери суттєво погіршився через безперервні вибухи боєприпасів та викиди шкідливих речовин від руху військової техніки. Хімічні реакції під час вибухів призводять до утворення надмірної кількості токсичних речовин, що суттєво забруднюють повітря.*

Ключові слова: Атмосферне повітря, ГДК, дослідження, пил, сажа, хімічні речовини.

Проведено аналіз стану атмосферного повітря Донецької області за 2025 рік в порівнянні з аналогічним періодом 2024 року за допомогою методів спостереження та порівняння, узагальнення і аналізу статистичної інформації. Для аналізу використовувались дані про стан забруднення атмосферного повітря на території Донецької області помісячно протягом 2025 року, а саме результати лабораторних досліджень проб атмосферного повітря з сайту Державної установи «Донецький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ» (далі- ДУ «ДОНЕЦЬКИЙ ОЦКПХ МОЗ»). Дана установа займається моніторингом довкілля в населених пунктах Донецької області, а відбір проб здійснюється її філіями.

В таблиці 1 показано аналіз проведеного моніторингу за станом атмосферного повітря в 2025 році помісячно в порівнянні з показниками відхилень 2024 року.

Таблиця 1

Помісячний аналіз відсотку відхилень проб атмосферного повітря в 2025 році в порівнянні з 2024 роком.

Місяць	Кількість проб	Відхилення	% 2025 рік	% 2024 рік	+/-
Січень	236	0	0	0	На рівні
Лютий	299	2	0,67	0	+ 0,6 разів
Березень	415	16	3,86	3,2	+ 1,2
Квітень	449	6	1,34	1,63	-0,8
Травень	491	18	3,67	2,48	+1,5
Червень	413	11	2,66	5,23	-0,5

Липень	430	25	5,81	3,98	+1,4
Серпень	422	30	7,1	4,63	+1,5
Вересень	374	11	2,94	5,0	-0,5
Жовтень	355	11	3,1	2,41	+1,2
Листопад	375	12	3,2	2,41	+1,2
Грудень	253	0	0	0	0
Всього	4512	142	3,14	2,96	+1,06

Вище приведені дані свідчать, що якість атмосферного повітря, яке досліджувалося лише в січні та грудні відповідала вимогам «Державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», затверджених Наказом МОЗ України № 813 від 10.05.2024 року, коли перевищення гранично допустимих концентрацій не реєструвалося. В квітні, червні, вересні стан атмосферного повітря має дещо нижчі показники відхилень в порівнянні з аналогічним періодом 2024 року, в інших місяцях спостерігається підвищення показників. Протягом 2025 року відхилення реєструвались в пробах атмосферного повітря у містах: Краматорськ, Слов'янськ, Дружківка, Костянтинівка, селі Ганівка Добропільської ОТГ та селищі Бокове Білозерської ОТГ. В таблиці 2 нижче проаналізовано відсоток відхилень по окремим речовинам, де якість повітря не відповідала вимогам нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі помісячно протягом 2025 року.

Таблиця 2

Таблиця 2. Щомісячний аналіз відсотку відхилень проб атмосферного повітря по окремим речовинам за 2025 рік.

Вище ГДК	Місяці											
	Краматорськ											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
%/Речовина	0	2,02	8,65	3,95	9,43	4,07	9,92	9,43	15,13	7,32	6,67	0
Фенол		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Формальдегід			+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Озон			+						+			
Пил			+	+	+			+	+			
Сажа			+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Азоту діоксид		+		+	+	+	+	+	+	+	+	
Ангідрид сірчистий				+	+				+			
	Слов'янськ											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
%/речовина	0	0	0	0	0	4,59	0	0	40	0	0	0
Азоту діоксид						+1,2 ГДК			+			
Вуглецю оксид									+			

Дружківка												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
%/ речовина					7,14	2,5	13,8	5,68				
Пил					+	+	+	+				
Ангідрид сірчистий					+			+				
Азоту діоксид					+		+	+				
Костянтинівка												
Місяці	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
% /речовина										11,1		
Вуглецо оксид										+		
Формальдегід										+		
Добропільська ОТГ (с. Ганівка)												
Місяці	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
%/ речовина							12,5					
Пил							+					
Білозерська ОТГ (с-ще Бокове)												
Місяці	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
%/ речовина								15,3				
Пил								+				

Найбільше відхилень спостерігається в місті Краматорськ, який не дивлячись на те, що більшість промислових підприємств, які надавали навантаження на екологію регіону релоковано до більш безпечних міст держави. На якість повітря впливає приближення до зони бойових дій, постійний рух військової техніки, в результаті чого в повітрі фіксуються перевищення гранично допустимих концентрацій пилу не тільки в місті Краматорськ, але в інших вказаних містах та селах. Оцінити екологічний стан області, в тому числі атмосферного повітря в цілому об'єктивно наразі неможливо, так як частина територій тимчасово окупована, а в тих населених пунктах, що постраждали внаслідок бойових дій відсутні фахівці в зв'язку з безпековою ситуацією, що викликає занепокоєння та потребує створення системи моніторингу стану атмосферного повітря, ґрунтів, водних ресурсів і екосистем для оцінки впливу війни на довкілля.

Р.Б. Гаврилюк, к.геол.н.
Інститут геологічних наук НАН України
В.М. Балінський
Національний екологічний центр України
В.В. Гулевець, аспірант
Міжрегіональна академія управління персоналом
Є.О. Бовсуновський, к.т.н.
Національний університет «Київський авіаційний інститут»

МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ У ВИЗНАЧЕННІ ШКОДИ, ЗАВДАНОЇ РОСІЙСЬКОЮ АГРЕСІЮ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОМУ БАСЕЙНУ

Анотація. Російська повномасштабна військова агресія проти України визначила безпрецедентний вплив на екосистеми Азово-Чорноморського морського басейну. Особливу загрозу становлять випадки нафтового забруднення, що здатні поширюватися на значні відстані і становлять загрозу як для морських, так і для прибережних екосистем. В роботі висвітлено результати застосування методів дистанційного зондування у дослідженнях таких забруднень, які є фактично безальтернативними в умовах триваючої агресії. Вони дозволяють документувати наслідки впливу, що є важливим елементом в оцінюванні довгострокових ризиків забруднення.

Ключові слова: морські екосистеми, мазутне забруднення, війна, дистанційне зондування.

Сучасна російська війна проти України принесла безпрецедентні впливи на довкілля, оцінювання яких має низку суттєвих викликів, серед яких і методичні [1]. Не є винятком і морські акваторії України, які опинилися в епіцентрі військових дій і продовжують зазнавати впливу впродовж вже більше 4 років повномасштабної агресії.

Супутникові методи дистанційного зондування Землі є одними з ключових інструментів оцінки екологічного стану морських акваторій, зокрема в умовах обмеженого доступу до районів дослідження. Їх значення суттєво зростає під час воєнних дій, коли традиційні методи спостереження є ускладненими або неможливими.

У період російської повномасштабної військової агресії проти України Азово-Чорноморський басейн зазнає значного впливу. Пошкодження портової інфраструктури, аварійні ситуації з морськими суднами, а також функціонування так званого «тіньового флоту» створюють підвищені ризики виникнення нафтових та нафтопродуктових забруднень морських а також прибережних екосистем. У цих умовах супутниковий моніторинг виступає головним джерелом оперативної та об'єктивної інформації про стан морського середовища.

Дослідження, проведені протягом останніх десятиліть, продемонстрували ефективність методів SAR (радіолокатор із синтезованою апертурою) у виявленні

розливів нафти на поверхні моря. Було доведено, що розливи нафти можна надійно ідентифікувати на зображеннях SAR завдяки ефекту загасання коротких хвиль у тонких плівках нафти. Важливим досягненням стало впровадження супутникової платформи Sentinel-1, яка забезпечує регулярне охоплення водних територій та високу просторову роздільну здатність. Водночас оптичні датчики Sentinel-2 виявилися цінними інструментами для уточнення меж забруднення та верифікації об'єктів на поверхні.

Запропонована інтегрована методика трасування нафтових шлейфів на основі поєднання даних Sentinel-1 та Sentinel-2 [2, 3] продемонструвала високу ефективність у задачах виявлення та локалізації джерел забруднення. Однак подальші дослідження показали, що інтерпретація SAR-знімків може бути суттєво ускладнена за певних умов, що призводить до появи шумових ефектів, хибнопозитивних структур або маскування реальних забруднень.

Доступними джерелами супутникових даних є програми Copernicus Sentinel-1 та Sentinel-2. Обробка та аналіз супутникових даних виконуються із використанням платформи Copernicus Browser (EO Browser), що забезпечує доступ до архівів супутникових спостережень та інструментів їх візуалізації.

Радіолокаційні дані Sentinel-1 (С-діапазон, режим IW, поляризації VV та VH) застосовуються для виявлення ділянок із пониженим рівнем зворотного розсіювання, які потенційно можуть відповідати поверхневим плівковим забрудненням, зокрема нафтового походження. Обробка SAR-знімків здійснюється у стандартному вигляді без глибокої радіометричної корекції, із використанням візуального аналізу просторових структур та контрасту сигналу.

Оптичні дані Sentinel-2 рівня L2A використовуються як незалежне джерело для верифікації результатів інтерпретації SAR-знімків. Аналіз проводиться із застосуванням стандартних та розширених візуалізаційних підходів, зокрема True Color, Highlight Optimized Natural Color, SWIR-композицій, а також спеціалізованих скриптів (False Color Urban, Magic Eyes, Index Visualization), що дозволяють підсилювати спектральні відмінності тонких плівкових утворень.

Методика дослідження базується на порівняльному аналізі радіолокаційних і оптичних знімків одних і тих самих сцен із метою оцінки достовірності виявлення нафтових забруднень. Особливу увагу слід приділяти аналізу впливу метеорологічних та гідрофізичних факторів, зокрема вітрового режиму, хмарності та температурної стратифікації приповерхневого шару, на формування радіолокаційного сигналу та можливість інтерпретації отриманих зображень.

Важливим елементом коректного використання даних дистанційного зондування є визначення обмеження застосування радіолокаційних супутникових знімків у прибережних акваторіях, що, зокрема, спричинені маскуванням реальних нафтових забруднень за умов термічної стратифікації приповерхневого шару.

На прикладі наслідків потрапляння нафтопродуктів на водну поверхню в акваторії Цемеської бухти (м. Новоросійськ) у першій половині квітня 2026 року, встановлено, що за певних метеорологічних умов (підвищена вітрова активність, щільна хмарність, температурна стратифікація приповерхневого шару) SAR-зйомка може втрачати інформативність, формувати хибнопозитивні сигнали, не відображати реальні нафтові шлейфи або призводити до їх повного маскування.

Отримані результати свідчать про наявність принципових обмежень використання радіолокаційних даних Sentinel-1 для виявлення поверхневих нафтових забруднень у прибережних акваторіях, особливо в умовах змінних метеорологічних процесів. Це пояснюється залежністю радіолокаційного сигналу від мікроспорсткості водної поверхні.

Встановлено, що хоча інтегрований підхід на основі Sentinel-1 та Sentinel-2 забезпечує високу ефективність виявлення та трасування забруднень, використання SAR як самостійного джерела даних є недостатнім. Отримані результати демонструють, що без обов'язкової верифікації за допомогою оптичних знімків або додаткових метеорологічних даних існує значний ризик як пропуску реальних забруднень, так і хибного їх виявлення.

Отримані результати уточнюють межі застосування супутникових методів моніторингу та підкреслюють необхідність комплексного підходу до аналізу морських забруднень.

Дослідження виконано за підтримки проєкту «OIL-TRACE Black Sea: Remote and Field Monitoring of Oil Pollution Dynamics in the Kerch Strait and the Tuzly Lagoons Region» («Дистанційний та польовий моніторинг динаміки нафтового забруднення в Керченській протоці та районі Тузлівських лиманів»), що впроваджується за сприяння Німецького федерального фонду охорони навколишнього середовища (Deutsche Bundesstiftung Umwelt).

Список використаної літератури

1. Гаврилюк Р.Б. Виклики в оцінці наслідків російської агресії проти України для довкілля. Збірник наукових праць Міжнародної Карпатської Школи: зимова сесія (21-25 лютого 2024 року): 2-ге вид., доповн. Косів: Наукове товариство імені Шевченка, 2024. С. 73–76.
2. Balinsky V., Havryliuk R., Hulevets V., Timofiti M. (2025). Integrated methodology for tracing oil slicks using Sentinel-1 and Sentinel-2 data: backward modelling, meteorological correction, and visualization analysis. Proceedings of the XXV International Science Conference “Ecology. Human. Society”, Kyiv, Ukraine, pp. 88–96. <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2025.332100>
3. Balinsky V.M., Havryliuk R.B., Hulevets V.V. (2025) Methodology for backward tracing of oil slicks to underwaterspill sources. Biological, chemical, and environmental threats during war: proceedings of the I International Scientific and Practical Conference, Lviv, May 22, 2025. Lviv: LSULS, p. 115-119.

ІНТЕГРАЦІЯ УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДО ЗАГАЛЬНОЄВРОПЕЙСЬКОГО ПРОСТОРУ

Станом на 2026-й рік ринок екосистемних послуг в Україні перебуває на початковому етапі свого розвитку. У правовому полі української держави положення про екосистемні послуги традиційно розвивалися у відповідності з галузевими уявленнями про природокористування. Тобто, існуючий організаційно-правовий механізм спрямований на те, аби врегулювати відносини природокористування у кожній конкретній сфері. Поміж тим, екосистемні послуги – це комплексне поняття. У найбільш широкому розумінні вони ототожнюють користь, яку надають природні ресурси суспільству.

На рівні конкретних громад та територій це означає, що кожний елемент оточуючого середовища, яким користується громада, регулюється окремими положеннями. Можна констатувати, що економічний механізм природокористування в Україні лише починає наближатися до ринкових аналогів, які функціонують у високорозвинених, в першу чергу – у країнах ЄС. Однак запозичення перевірених світовою практикою інструментів і методів регулювання господарського освоєння природно-ресурсного потенціалу наштовхується на невідповідність інституціонального підґрунтя (відсутність необхідного набору формальних і неформальних інститутів), що призводить до посилення інституціональних розривів між інтересами держави як виразника потреб власника природних ресурсів (українського народу) та інтересами корпоративного сектора, який охоплює найбільших природо користувачів.

Подальші процеси європейської інтеграції, через які проходить українська держава, вимагають вдосконалення правового поля, у тому числі інструментів правового регулювання, за допомогою яких здійснюється регулювання ринку екосистемних послуг. На рівні громад та окремих територій створення такого ринку дозволить акумулювати додаткові кошти, а також розвивати нові напрямки природокористування. Диверсифікація методів та інструментів економічного механізму природокористування на регіональному та місцевому рівнях має відштовхуватися від екологічної обстановки, пріоритетів здійснення природоохоронної діяльності та господарського освоєння природно-ресурсного потенціалу. Необхідно також враховувати той факт, що посилення деструктивних процесів у системі суспільного відтворення певною мірою зумовлено саме недосконалістю існуючого економічного механізму природокористування.

У перспективі сфера природокористування в Україні не зможе існувати відокремлено від загальноєвропейського ринку. Це пов'язано не лише с вадами у інституційній взаємодії. Зазначена проблема більш широка. Відсутність єдиного правового поля стримує розвиток тих напрямків економічної діяльності, які безпосередньо пов'язані із природокористуванням. Інтеграція механізму інституціоналізації екосистемних платежів в першу чергу спрямована на синхронізацію з процесами децентралізації на місцевому рівні та на інтеграцію у

європейський простір на загальнодержавному. У тому числі в системі управління використанням природних ресурсів та охороною навколишнього природного середовища. Тривалий період екологічні та природно-ресурсні проблеми на місцевому рівні розглядалися як другорядні, а також у зв'язку з відсутністю надійних джерел фінансового забезпечення процесів природоохоронної та природо-експлуатаційної діяльності основна відповідальність покладалася на державний рівень. Органи місцевої влади зіткнулися з багаторічними проблемами, пов'язаними з нерозвиненістю інституційного простору, оскільки основні забруднювачі довкілля проявлялися саме на місцевому рівні. Тобто, на рівні загальнодержавного управління концентрувалися можливості та ресурси, натомість на місцевому рівні – ризики та проблеми. Інтеграція механізму інституціоналізації екосистемних платежів передбачає досягнення рівноваги між рівнями та компромісу між інтересами представників цих рівнів.

Практичний вимір проблематики інтеграції українського ринку екосистемних послуг полягає у можливості додаткової комерціалізації ресурсів місцевих громад. Розвиток правової бази з надання екосистемних послуг дозволяє розширити можливості для приватної ініціативи. При тому, що на державному рівні проголошено орієнтацію на сталий розвиток в якості основоположної стратегії, держава не відмовляється від природокористування. У тому числі немає планів щодо зменшення надходжень від використання природних ресурсів. Водночас зростання обсягів фінансування регіональних та місцевих бюджетів щодо природокористування та політики збереження і охорони довкілля може бути досягнутим за умови, коли більша частина рентної плати за спеціальне використання природних ресурсів та екологічного податку буде концентруватися у спеціальних фондах, створених у структурі регіональних та місцевих бюджетів. Надходження вказаних видів платежів до спеціальних фондів гарантуватиме їх цільове використання, а саме на потреби здійснення природоохоронної діяльності, складовою частиною котрої виступає виробничо-технічна база.

Список використаних джерел

1. Голян В.А., Мединська Н.В. Інституціоналізація економічного механізму ресурсозбереження та енергоефективного природокористування на рівні ОТГ // *Problemy Ekonomiky*. – 2021. - №4. – С. 211.
2. Карпук А.І., Марчук Ю.М., Миклуш Т.С. Фінансово-інвестиційне забезпечення комплексного природокористування в умовах децентралізації: специфіка карпатського регіону // *Агросвіт*. – 2020. - №7. – С. 7

ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ, ЯК МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ ТА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Анотація. *Впродовж останніх десятиліть транспортна галузь розвинулась у масштабах, які наразі важко уявити. Кожного дня по світу здійснюється тисячі різних авіарейсів, транспортних перевезень, тощо. Це все потребує використання палива, яке є одним з найтоксичніших забруднювачів довкілля, а надто ґрунтів.*

Ключові слова: фіторемедіація, ґрунт, важкі метали, нафтопродукти.

За даними проведений досліджень встановлено, що гарними фіторемедіантами є рифлений гарбуз або тальфарія західна [1], а також бамія [1]. В інших наукових джерелах рекомендується використовувати декоративні рослини видів: гайлардію, ехінацею пурпурову, очертанку звичайну та люцерну посвіну [2]. Цікавим є те, що бобові рослини зазвичай слугують гарними акумулюючими нафтових продуктів, проте не можна стверджувати, що всі, так, наприклад за інформацією наукового джерела [3], конюшина лучна в результаті проведеного дослідження проявляла ознаки прігніченості. Ще досить ефективним фіторемедіантом є просо, елевсина індійська та костриця очеретяна [4] та евкаліпт [5].

Транспортна галузь спричиняє забруднення не тільки нафтопродуктами, але й продуктами побічних наслідків. Серед таких провідне місце займають важкі метали. Через транспортну галузь у довкілля найчастіше потрапляють такі важкі метали, Cd, Cr, Pb, Ni, As, Al, Zn, Cu [6,7].

Метали є небезпечними токсикантами, адже завдяки своїй мобільності можуть легко потрапляти у найвіддаленіші частинки світу. У ґрунті вони можуть проникати у підземні води, що надалі отруюють криниці, тощо. Шкідливими метали є і для рослиноїдних тварин, чия харчова база безпосередньо залежить від якості сировини. Особливо, варто звернути увагу для сільськогосподарські культури рослин, які через неналежне ставлення до ґрунту стають основними джерелами потрапляння важких металів до організму людини.

Однак, за інформацією наукових досліджень, такі рослини, як соняшник добре акумулюють Cd, Pb, Cr та Zn [8, 11, 12] за інформацією з інших наукових досліджень ефективним фіторемедіантом для Cd, а також і для Cu є сімейство вербових, яке потім можна використовувати в ролі енергоресурсу [9].

Досить гарний результат у поглинанні Zn та Cr показали такі рослини, як арundo тростинний та міскантус цукрокрітковий [10], які також зустрічаються і в Україні. Дані рослини теж досить широко використовуються у енергетичній галузі. Ще одним відкриттям стало китайське дослідження льону [13], що виявило, що льон є ефективним сорбентом Cu.

Бобові, про які вже було згадано вище, можуть виступати, також гарними фіторемедіантами важких металів. Зокрема, в одному науковому виданні було описано дослід, в результаті якого після 12-и тижнів висадки сої у ґрунті, що був

забруднений свинцем, було доведено, що соя звичайна може активно використовуватись у фітореMediaції[14].

Висновки. Отже, фітореMediaція є гарним методом для очистки ґрунтів не тільки в Україні, а й по всьому світі. Цей метод є економічно вигідним, природним і за безпечної утилізації не завдає шкоди довкіллю. Не зважаючи на те, що він не є відносно новим, проте є актуальним досі, особливо для українських ґрунтів, що потерпають від великого спектру забруднення через бойові дії. Саме тому важливо продовжувати дослідження даного методу, адже, не дивлячись на велику кількість наукової літератури, проте ще багато видів рослин не є до кінця досліджуваними.

Список використаної літератури

1. Akpokodje, O. I.; Uguru, H. Phytoremediation of petroleum products contaminated soil. *interface*, 2019, 9: 10.
2. Liu, R., Jadeja, R. N., Zhou, Q., & Liu, Z. (2012). Treatment and remediation of petroleum-contaminated soils using selective ornamental plants. *Environmental engineering science*, 29(6), 494-501.
3. Kaimi, E.. "Screening of twelve plant species for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil." *Plant production science* 10.2 (2007): 211-218.
4. Shirdam, Ravanbakhsh, et al. "Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils with emphasis on the effect of petroleum hydrocarbons on the growth of plant species." *Phytoprotection* 89.1 (2008): 21-29.
5. Taheri, Mahnaz, et al. "Phytoremediation modeling in soil contaminated by oil-hydrocarbon under salinity stress by eucalyptus (A comparative study)." *Computers and Electronics in Agriculture* 150 (2018): 162-169.
6. Gautam, Pavan Kumar, et al. "Heavy metals in the environment: fate, transport, toxicity and remediation technologies." *Nova Sci Publishers* 60 (2016): 101-130
7. Vaiškūnaitė, Rasa, and Vilma Jasiūnienė. "The analysis of heavy metal pollutants emitted by railway transport." *Transport* 35.2 (2020): 213-223.
8. Alaboudi, K. Et al. "Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower plant." *Annals of agricultural sciences* 63.1 (2018): 123-127.
9. Пацула ОІ, Фецюх АБ, and Л. В. Буньо. "Використання *salix viminalis* L. для фітореMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами." С.101-106
10. Li, C., et al. "Phytoremediation of Zn-and Cr-contaminated soil using two promising energy grasses." *Water, Air, & Soil Pollution* 225.7 (2014): 2027.
11. Lotfy, Siad M., and A. Z. Mostafa. "Phytoremediation of contaminated soil with cobalt and chromium." *Journal of Geochemical Exploration* 144 (2014): 367-373.
12. Soares, Elda, Abdul Hamid, and Sarwoko Mangkoedihardjo. "Phytoremediation of zinc polluted soil using sunflower. *Journal of Phytology* 13 (2021): 9-12.
13. Saleem, M., et al. "Copper-induced oxidative stress, initiation of antioxidants and phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) seedlings grown under the mixing of two different soils of China." *Environmental Science and Pollution Research* 27.5 (2020): 5211-5221.
14. Aransiola, et.al.. "Phytoremediation of lead polluted soil by *Glycine max* L." *Applied and Environmental Soil Science* 2013.1 (2013): 631619.

Науковий керівник – Л.М. Черняк, д.т.н., доц.

СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ ГИРЛА РІЧОК ПІВДЕННИЙ БУГ, ІНГУЛ ТА ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ ПІВДЕННО-БУЗЬКОГО ЛИМАНУ У ДОВОЄННІ ЧАСИ

Основним джерелом прісної води в Україні є стоки річок Дніпра, Дністра, Сіверського Дінця, Південного Бугу, Дунаю, Теси, Прута і малих річок Чорного і Азовського морів.

Водні ресурси Теси, Прута частково використовуються приграничними з Україною державами, а води Дунаю – для водних потреб багатьох придунайських міст і сел [1].

Безпосередньо на території України формується біля 50 млрд. м³ води, а з прилеглих з Україною територій надходить біля 30 млрд. м³ води. Водні ресурси формуються головним чином за рахунок атмосферних опадів. В басейнах Дніпра, Південного Бугу і інших річок основна частина (60-80%) річного стоку припадає на період весняного танення паводку. В інші пори року річки мають приблизно однаковий стік.[2]

Основними причинами забруднення поверхневих вод України є: скиди неочищених комунально-побутових (40,2%) і промислових (40,7%) стічних вод безпосередньо у водні об'єкти, надходження до водних об'єктів забруднюючих речовин у процесі поверхневого природного стоку з забруднених територій та з сільськогосподарських угідь; надходження з атмосферними опадами газоподібних шкідливих речовин промислового і комунального походження на водозабірні площі річок та на поверхню водоймищ. У катастрофічному стані знаходяться також річки Південний Буг, Інгул, Сіверський Донець, де щорічно має місце ускладнення екологічної ситуації, знижується вилов риби, бідніє біологічне різноманіття.

За воєнні часи утворилися нові джерела впливу, пов'язані з вибухами, руйнуванням, знешкодженням бойових засобів. Для того, щоб оцінити вплив воєнних подій на екосистему гирла р. Південний Буг, нами здійснювався моніторинг стану поверхневих вод у районі м. Миколаєва у довоєнні часи.

Водне середовище на території м. Миколаєва складається з поверхневих вод гирл рр. Інгул і Південний Буг та верхньої частини Південно-Бузького лиману. На р. Інгул багато населених пунктів і підприємств, які використовують річкову воду для своїх потреб та скидають у річку свої рідкі відходи. Разом зі стічними водами у річки потрапляють нафтопродукти, сульфати, феноли, азот амонійний та нітритний, важкі метали, залізо, хлориди та інші шкідливі речовини.

Дослідження фізико-хімічного складу води Південного Бугу свідчили, що мінералізація води збільшувалась донизу за течією. Так, концентрації хлоридів і сульфатів в річковій воді в районі с. Олексіївка (42 і 86 мг. екв/л відповідно) суттєво відрізнялись від району м. Вознесенськ (143 і 3 мг. екв/л) і м. Миколаєва (560 і 190 мг. екв./л відповідно).

Підвищення мінералізації річкової води в районі м. Вознесенську пов'язано зі рідкими скидами підприємства «ВОЗКО», а високі концентрації хлоридів і

сульфатів у воді Південного Бугу виникають під час вітрових нагонів лиманської води, яка може підніматися по річці навіть до м. Нова Одеса. Ці обставини присутні і сьогодні. Так фізико-хімічні дослідження проведені Миколаївським центром з гідрометеорології у 2016-2017 (таблиці 3 і 8) показують постійне коливання солоності в воді рр. Інгул і Південний Буг від 1,7 г/дм³ (червень) до 9,6 г/дм³ (серпень) у 2016 р. і від 1,9 г/дм³ (травень) до 9,1 г/дм³ (січень) у 2017 році.

Підвищення солоності річкової води впливало на її мінеральний склад, що в свою чергу змінює фізико-хімічні умови в водному середовищі, які обумовлюють створення різних осадових комплексів з розчиненими у воді окремими природними і техногенними речовинами та їх сполуками. (рис.1)

Миколаївський обласний центр гідрометеорології проводив гідрохімічні спостереження вод Дніпро-Бузької гирлової області. Сектором виконуються роботи з відбору проб води на акваторії м.Миколаєва (набережна Інгулу, Варварівський міст, морський порт, район нижче нафтобази, с.Матвіївка), в гирлі Дніпра (рукав Рвач, Кошева), а також в Дніпро- Бузькому лимані в районах с.Станіслав і м.Очаків. Визначення якості води аналізуються за такими показниками: рН, розчинений кисень, солоність, нафтопродукти, амонійний азот, нітри́ти, нітрати, загальний азот, фосфати, загальний фосфор, лужність, кальцій, магній, загальна жорсткість, сульфати, феноли, СПАР, кремній, сірководень.

За даними гідрохімічного моніторингу, який проводив Миколаївський обласний центр гідрометеорології у водному середовищі навколо м. Миколаєва (райони морського порту, Варваровського мосту, набережної р. Інгул), в міській акваторії реєструються нафтопродукти та шкідливі сполуки: феноли, амонійний азот і нітрати, СПАР, які теж можуть створювати осадові комплекси і накопичуватись на дні гирл річок Південно –Бузького лиману.

Як показали результати спостереження Миколаївського обласного центра гідрометеорології за 2016-2021 рр., рівень вмісту вищевказаних шкідливих речовин в водному середовищі м. Миколаєва щомісячно змінюється. Так, в 2016 році найбільший вміст нафтопродуктів і фенолів реєструвався у поверхневих водах м. Миколаєва в січні-лютому, а нафтопродуктів ще в листопаді, квітні і травні. В 2017 році найбільший вміст нафтопродуктів реєструвався в серпні, а фенолів – в липні, вересні і жовтні, в інші місяці вміст нафтопродуктів був на рівні ГДК.

Вміст нітритного азоту в акваторії водного середовища м. Миколаєва у 2016 р. знаходився на рівні 20-25 мкг/дм³ за винятком червня, вересня і жовтня місяців, коли в районі морського порту його концентрації піднялись до 30-65 мкг/дм³ (ГДК – 20 мкг/дм³). Починаючи з 2017 року нітритний азот реєструвався в річковій воді вже на протязі всього року (крім червня, липня) у всіх районах контролю досягаючи 29-50 мкг/дм³ в районі морського порту. Підвищенні концентрації нафтопродуктів, фенолів і нітритного азоту протягом 2016-2021 рр. реєструвались в акваторії морського порту м. Миколаєва.

Список використаної літератури

1. Хільчевський В. К. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу : монографія. Київ: Ніка-центр, 2009.
2. Яцик А. В., Волкова Л. А., Яцик В. А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління : підручник. Київ, 2018.

**ДОСЛІДЖЕННЯ АКУМУЛЯЦІЇ ^{137}Cs ВОДОРОСТЯМИ *Cladophora fracta*
У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ ГИРЛА РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ**

Інформація про величини присутності радіонуклідів у водяній рослинності дає уявлення про рівень радіонуклідного забруднення водойми та про динаміку формування радіоємності водної екосистеми.[1] Виходячи з цього для проведення оперативної оцінки існуючої радіаційної обстановки у річкових екосистемах, гідродинамічно пов'язаних з ставком-відстійником каналізаційних вод АЕС, нами проведені вимірювання вмісту дозостворюючого радіонукліду ^{137}Cs у нитчастих водоростях (*Cladophora fracta*) з річок Арбузинка, Мертвовод, Південний Буг та визначалась динаміка активності радіонукліду у гідробіонтах річок протягом тривалого надходження до них "станційних" радіонуклідів.

Дані вимірів вмісту радіонукліду у водоростях наведено на рис. 5.3.4-5.3.5. Питома активність ^{137}Cs у період 1985-1990 рр. у нитчастих водоростях р. Арбузинка, Мертвовод була на рівні 16,4-60,8 Бк/кг, у 1991-1996 рр. - на рівні 3,8-45,6 Бк/кг, у 1997-2004 рр. - на рівні 1,1-5,6 Бк/кг, у 2025 р. – на рівні 1,0-3,2 Бк/кг. Причому в кожному періоді різниця між вмістом радіонукліду у водоростях на початку і наприкінці періоду була різною (у другому шестиріччі різниця досягла 10). Вміст ^{137}Cs у водоростях р. Південний Буг знаходився у ці періоди спостережень відповідно на рівнях: 2,1-17,3 Бк/кг; 5,1-18,4 Бк/кг 1,8-4,3 Бк/кг.

У водоростях, які відбирались з р. Південний Буг вище місця скиду "продувних" вод (с. Олексіївка), вміст ^{137}Cs був: 2,4-11,0 Бк/кг; 3,8-7,3 Бк/кг і 1,6-3,1 Бк/кг-відповідно.

Результати вимірів питомої активності ^{137}Cs у водоростях свідчать про те, що рівень присутності цього радіонукліду у річках обумовлюються різними факторами: нерівномірність стікання з території вище за течією та винесенням з рідкими скидами Південноукраїнської АЕС. Підтвердження цієї тенденції також дають результати аналізу динаміки змін середньорічного рівня ^{137}Cs у водоростях річок Арбузинки, Мертвовод і Південний Буг з 1985 до 2025 рр. До 1997 р. радіаційна обстановка у прилеглих до АЕС річкових системах кожного року змінювалась, особливо в річках Арбузинка і Мертвовод: у 1988-1990 рр. вміст ^{137}Cs у водоростях виріс до 40-60 Бк/кг, у річці Південний Буг вміст цього радіонукліду теж підвищився до 20 Бк/кг. Ці підвищення обумовлені саме нерівномірним стіканням з водозбору р.Південний Буг. Ця тенденція залишилися і в 2025 р.

Підвищення рівня ^{137}Cs у водоростях р. Арбузинка і Мертвовод, який між тим був у 2 рази більшим, ніж в Південному Бузі, можна пояснити так само, але також й додатковим внеском рідких скидів ПАЕС. У 2025 р. радіаційна обстановка у річковій екосистемі була стабільною: вміст ^{137}Cs водоростях рр. Південний Буг, Арбузинка, Мертвовід утримувався на рівні 2-5 Бк/кг.

ПЛАВНЕВА РОСЛИННІСТЬ ВОДОЙМ ПІВДЕННО-БУЗЬКОЇ ЕКОСИСТЕМИ У ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИХ ЗАХОДАХ

Водяна біота, зокрема водяна рослинність, дуже чутливо реагує на присутність хімічних та радіонуклідних поллютантів у водоймі. Цю її якість часто використовують для індикації рівня забруднення водного середовища хімічними поллютантами. Водорості – це природні «фільтри», які очищують воду завдяки здатності накопичувати забруднювачі через фіторемедіацію. При цьому недостатньо вивченими залишаються питання акумуляційних властивостей для конкретних видів водяної рослинності. Мало досліджень щодо визначення коефіцієнтів акумуляції радіонуклідних поллютантів для водойм півдня України. Так, мало досліджень відносно розповсюджених у водоймах регіону нитчастих водоростей (*Cladophora fracta* etc) та інших представників макрофітів цих водойм. Виходячи з цього задача полягає у представленні інформації про акумуляційні властивості основних представників біотичної складової водойм пониззя р. Південний Буг і Бузького лиману [1].

Нитчасті водорості (зокрема *Cladophora spp.*, в т.ч. *Cladophora glomerata* / *Cladophora fracta* та ін.) у нижній течії р. Південний Буг і в Бузькому лимані. *Cladophora spp.* присутні у нижній частині Південного Бугу і в прибережних зонах лиману: вони входять до складу перифітону та епіфітону на каменях, коренях макрофітів і донних субстратах. Також широко розповсюдженими є вищі водяні рослини роду рдест (*Potamogeton spp.*) – це один із найпоширеніших і екологічно важливих компонентів прісноводних та слабкосолонуватих водойм України, зокрема басейну Південного Бугу і Бузького лиману. У басейні Південного Бугу найчастіше фіксуються [6]: *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton pectinatus* (syn. *Stuckenia pectinata*), *Potamogeton crispus*, *Potamogeton natans*.

Оцінювання акумуляційної здатності водяних рослин щодо важких металів здійснювалося за коефіцієнтами біологічного поглинання ($K_{6п}$), який визначали як відношення вмісту елемента у попелу сухої біомаси до вмісту у донному ґрунті: З результатів маємо, що для більшості металів $K_{6п}$ є більшим за 1. Це свідчить про активне поглинання їх водоростями. Високі коефіцієнти біологічного поглинання свідчать про наявність техногенного забруднення водних компонентів металами. Результати свідчать, що р. Південний Буг у нижній течії та Бузький лиман більш забруднені важкими металами, ніж у верхній течії.

Список використаної літератури

1. Мазур І., Наконечний І. Плавнева рослинність степових річок Миколаївської області та її стан у сучасних еколого-гідрологічних умовах середовища. *Наукові записки НУБіП України*. №2 (84), 2020. С. 76-87.

ПРОСТОРОВА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ПРОМИСЛОВОЇ ЗОНИ м. ЖИТОМИРА ЗАСОБАМИ GIS

Анотація. Виконано просторову оцінку потенційних екологічних ризиків промислової зони м. Житомира засобами GIS на основі відкритих геоданих. Оцінювання проведено за чотирма факторами: близькість до промислових територій, магістральних доріг, водних об'єктів та віддаленість від зелених насаджень. За результатами моделювання встановлено переважання середнього рівня ризику (72,0% площі), тоді як високий ризик (16,7%) просторово тяжіє до промислового ядра та транспортної інфраструктури. Отримана картосхема може бути використана для попередньої оцінки екологічної безпеки урбанізованих територій.

Ключові слова: GIS, екологічний ризик, промислова зона, просторовий аналіз, QGIS, OpenStreetMap, екологічна безпека, Житомир.

Промислові території міста є осередками підвищеного техногенного навантаження, що зумовлює потребу у просторовій оцінці потенційних екологічних ризиків. Метою роботи є просторова оцінка екологічних ризиків промислової зони м. Житомира засобами GIS. Для дослідження використано середовище QGIS та відкриті геодані OpenStreetMap. Межу дослідження сформовано шляхом побудови 1000-метрового буфера навколо промислових територій, що дало змогу охопити промислове ядро та прилегли території можливого впливу.

Оцінювання виконано за регулярною сіткою 100×100 м, де одна клітинка відповідає 1 га. Для кожної клітинки визначено чотири бальні індикатори: близькість до промислових територій (F_{ind}), магістральних доріг (F_{road}), водних об'єктів (F_{water}) та віддаленість від зелених насаджень (F_{green}). Інтегральний індекс ризику визначали методом зваженої лінійної комбінації факторів. Для побудови скринінгової GIS-моделі вагові коефіцієнти задано експертно з урахуванням припущення про вищий вплив близькості до промислових територій і магістральних доріг на формування потенційного екологічного ризику. У моделі використано таке співвідношення ваг:

$$RISK = 0,35 \cdot F_{ind} + 0,25 \cdot F_{road} + 0,20 \cdot F_{water} + 0,20 \cdot F_{green}.$$

Отримані значення індексу використано для класифікації території на зони низького, середнього та високого ризику.

У межах досліджуваної території загальною площею 3662 га оцінено 3662 клітинки. Встановлено, що низький ризик охоплює 413 га (11,3%), середній - 2638 га (72,0%), високий - 611 га (16,7%). Таким чином, у структурі досліджуваної території переважає середній рівень ризику, тоді як зони високого ризику мають локалізований характер.

Розподіл площі за класами екологічного ризику

Клас ризику	Клітинки, шт.	Площа, га	Частка, %
Низький	413	413	11,3
Середній	2638	2638	72,0
Високий	611	611	16,7
Разом	3662	3662	100,0

Просторовий розподіл класів ризику свідчить, що ділянки високого ризику тяжіють до території із найбільшою концентрацією промислових об'єктів і до магістральних транспортних коридорів. Зони середнього ризику формують основний фон досліджуваної території, тоді як ділянки низького ризику переважно приурочені до периферійних частин із меншим техногенним навантаженням і кращою забезпеченістю зеленими насадженнями. Отримані результати можуть бути використані для пріоритизації ділянок екологічного моніторингу, попередньої оцінки екологічної безпеки території та обґрунтування локальних природоохоронних заходів.

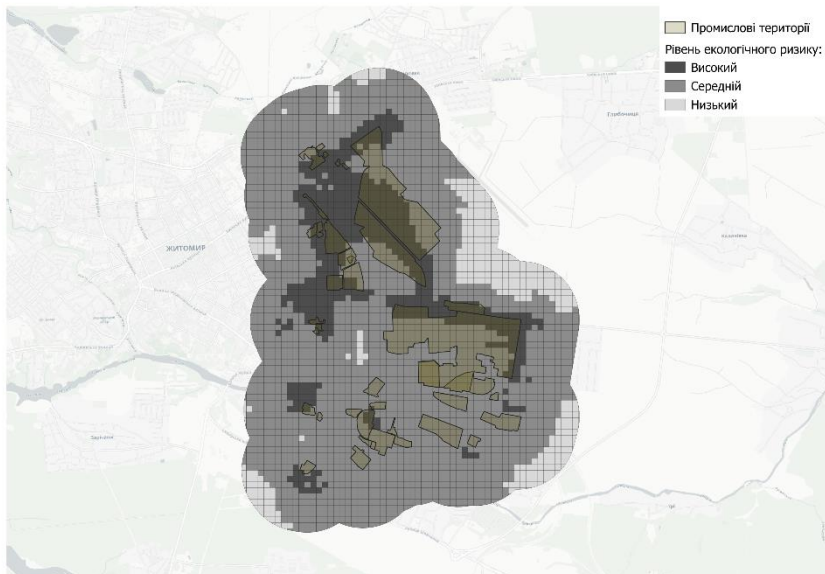


Рис. 1. Просторова диференціація класів потенційного екологічного ризику промислової зони м. Житомира (сітка 100×100 м).

Науковий керівник – А. А. Зимарова, д-р с.-г. наук, доцент

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ТА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД АГРОХІМІКАТАМИ

Анотація. Розглянуто екологічні ризики, пов'язані із застосуванням мінеральних добрив і пестицидів у сільському господарстві. Проаналізовано механізми міграції агрохімікатів із орних земель у ґрунти та поверхневі водні об'єкти, а також їхній вплив на фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунтів і якість води. Визначено основні екологічні загрози, зокрема деградацію родючого шару ґрунтів, хронічне токсичне навантаження на агроєкосистеми та евтрофікацію водою. Обґрунтовано напрями мінімізації негативного впливу агрохімікатів через раціональне землекористування, дотримання екологічно обґрунтованих норм внесення добрив, використання ґрунтозахисних технологій і систем екологічного моніторингу.

Ключові слова: екологічна безпека, агрохімікати, ґрунти, поверхневі води, сільське господарство, забруднення довкілля.

Інтенсивне сільське господарство є одним із головних джерел антропогенного забруднення ґрунтових і водних екосистем. Основними чинниками є широке застосування мінеральних добрив та засобів захисту рослин. При перевищенні норм внесенні азотних і фосфорних добрив у ґрунтах накопичуються нітрати, фосфати та інші біогенні елементи, що порушує природні фізико-хімічні процеси, зокрема гумусоутворення, та знижує активність ґрунтової мікрофлори [1].

Тривале і масове застосування азотних добрив призводить до підвищення кислотності ґрунту, зменшення його буферних властивостей і поступової деградації родючого шару. Це з часом знижує врожайність і потребує додаткових витрат на відновлення родючості, що, у свою чергу, збільшує хімічне навантаження на ґрунтові та водні системи. Внаслідок цього порушуються біогеохімічні цикли елементів, що визначає зниження продуктивності агроєкосистем і підвищує ризики забруднення довкілля [2].

Під впливом атмосферних опадів, поверхневого та ґрунтового стоку агрохімікати мігрують за межі полів і потрапляють у річки, ставки та водосховища. Це призводить до збільшення концентрацій нітратів і фосфатів у водних об'єктах та створює сприятливі умови для евтрофікації. Евтрофікація характеризується масовим розростанням водоростей, зменшенням вмісту розчиненого кисню, загибеллю водних організмів і зниженням біорізноманіття, а також підвищує ризик розвитку токсичних мікроводоростей, що є небезпечними для людини, тварин і рослин [3]. Залишки пестицидів і продукти їх розкладу можуть зберігатися в ґрунті протягом декількох років, створюючи «хронічне» токсичне навантаження. Деякі органічні пестициди мають властивість біоаккумуляції, а інші можуть деградувати з утворенням більш токсичних проміжних сполук. Пестициди і продукти їх розкладу

потрапляючи у водні екосистеми, вони впливають на фотосинтезуючі мікроорганізми, зменшують чисельність зоопланктону і риб, порушують харчові ланцюги та спричиняють зниження біорізноманіття [1].

Особливо чутливими до забруднення є малі річки, озера та прибережні акваторії. У таких водоймах забруднення має локальний, але тривалий характер, що ускладнює природне самоочищення. Забруднені води непридатні для господарсько-питного використання, зрощення та рекреаційних цілей, а також у донних відкладах можуть накопичуватись токсичні речовини в донних відкладах, що створює довготривалу екологічну загрозу.

Концентрації нітратів у малих річках українських аграрних регіонів часто перевищують допустимі санітарні норми, а залишки пестицидів виявляються навіть у водопровідній воді після стандартної очистки. Це підтверджує високий рівень екологічного ризику та необхідність застосування превентивних заходів. Зокрема, вони можуть включати комплекс заходів з раціонального землекористування, зменшення площ однотипних посівів, впровадження мультикультурних сівозмін та використання сидератів для покращення структури ґрунту і біологічної активності [2, 3]. Мінімізація ризиків передбачає комплексний підхід [1, 2, 3]:

1) застосування раціонального землекористування – чергування культур, зменшення площ однотипних посівів, використання сидератів і мультикультурних сівозмін для збереження біологічного балансу ґрунтів;

2) дотримання норм і строків внесення добрив – облік потреби рослин у мікроелементах, точне дозування і контроль за хімічним навантаженням;

3) захисні смуги та ґрунтозахисні технології – створення буферних зон вздовж водотоків, мінімальна обробка ґрунту, мульчування, агролісомеліорація;

4) системи екологічного моніторингу – регулярний контроль якості ґрунту та води, лабораторні аналізи на вміст нітратів, фосфатів і залишків пестицидів, прогнозування можливих ризиків і впровадження превентивних заходів [1,2,3].

Загалом, впровадження даних заходів дозволяє не лише зменшити негативний вплив агрохімікатів на довкілля, а й підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва за рахунок збереження родючості ґрунтів і стабілізації водного балансу. Такий системний підхід є необхідним для забезпечення екологічної безпеки сільського господарства та сталого розвитку агроєкосистем.

Список використаної літератури

1. Юрченко А. І. Методичні рекомендації щодо прогнозування надходження біогенних речовин та пестицидів з дифузних джерел сільськогосподарського походження до водних об'єктів. *Інновації та науковий потенціал світу: зб. матеріалів.* – Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2023. – С. 146–151.

2. Балюк С. А., Рожко В. В. Забруднення ґрунтів та водних ресурсів агрохімікатами: джерела, механізми та оцінка ризиків. // *Ґрунтознавство та агрохімія України.* 2021. Т. 45, № 3. С. 15–26 [2].

3. Балюк С. А., Мірошниченко М. М., Медведєв В. В. Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. // *Вісник аграрної науки.* –2018. – № 11. – С. 5–12 [3].

Науковий керівник - М. М. Орфанова, к.т.н., доц.

Н.О. Іванова, к.геогр.н.
Інститут гідробіології НАН України

ПОШИРЕННЯ ЦІАНОБАКТЕРІАЛЬНИХ «ЦВІТІННЯ» У ВОДОСХОВИЩАХ І МОЖЛИВОСТІ ЇХ КОНТРОЛЮ

Анотація. *Ціанобактеріальні «цвітіння» є одним із найпоширеніших проявів евтрофікації у прісноводних екосистемах, зокрема у водосховищах. Їх інтенсивність і частота зростають під впливом антропогенних факторів і кліматичних змін. Показано, що водосховища створюють специфічні гідрологічні умови, які сприяють масовому розвитку ціанобактерій, що потребує впровадження комплексних підходів до моніторингу та управління.*

Ключові слова: «цвітіння» води, гідрологічний режим, водосховища, ціанобактерії

Ціанобактеріальні «цвітіння» води (ЦЦВ) є одним із найбільш поширених проявів деградації прісноводних екосистем. Масовий розвиток ціанобактерій спостерігається у водоймах різного типу, проте особливо характерний для водосховищ, де поєднуються сприятливі гідрологічні та трофічні умови.

Явище «цвітіння» води має глобальне поширення та спостерігається у водоймах різних кліматичних зон, з тенденцією до зростання частоти та тривалості в умовах кліматичних змін і антропогенного навантаження. Так, за результатами аналізу 1965 великих водойм Світу, представленого в роботі [6], явища шкідливого «цвітіння» води було виявлено у 962 з них, причому для 60% цих водних об'єктів характерним є регулярне щорічне «цвітіння» протягом останніх двох десятиліть. ЦЦВ зафіксовані на всіх континентах, із більшою частотою у субтропічних водоймах (в середньому на рік виявлено 2,2%) порівняно з тропічними (1,0%).

Регіональний аналіз показує, що в Північній Америці (середньорічна частота виявлення ЦЦВ 3,7%) осередки частих «цвітіннь» зосереджені в басейні річки Міссісіпі та водозборі озера Вінніпег, що пов'язано з високим надходженням поживних речовин із сільськогосподарських територій [4]. В Азії найбільш ураженими є водойми Центральної та Східної частини континенту, зокрема в басейні нижньої течії річки Янцзи.

Найбільш інтенсивне поширення «цвітіннь» води характерне для Європи (5,0%), зокрема для водойм Південних Альп і Чорноморського регіону, де цей показник може перевищувати 10% [6]. Наприклад, за даними дослідників [3], у Польщі «цвітіння» води (видима зміна кольору води при концентрації хлорофілу а вище 20 мкг/дм³) у старицях тривають від 1 до 3 місяців (серпень–жовтень), а у ставках – протягом п'яти (червень–жовтень).

У дніпровських водосховищах максимальний розвиток ціанобактерій спостерігався у перші роки після введення в експлуатацію, а повторні спалахи «цвітіння» були зумовлені непослідовним формуванням каскаду. Після завершення його будівництва у 1976 році відбулася стабілізація гідрологічного та

гідробіологічного режимів, що супроводжувалося зменшенням інтенсивності «цвітіння» у 1980–1990-х роках [5]. У сучасний період інтенсивні ЦЦВ регулярно спостерігаються влітку і можуть охоплювати до 70% площі водосховищ, особливо в мілководних затоках і підвітряних ділянках. Просторово-часовий аналіз показує, що найбільша інтенсивність розвитку характерна для Кременчуцького та Кам'янського водосховищ, тоді як у Київському водосховищі «цвітіння» зазвичай менш виражене через нижчу температуру та більшу каламутність води. У окремі роки інтенсивність суттєво варіює залежно від гідрологічних умов: наприклад, мінімальний розвиток водоростей у 2013 році пов'язують із підвищеним стоком Дніпра [1].

Водосховища дніпровського каскаду виконують функції гідроенергетики, водопостачання, регулювання стоку та забезпечення судноплавства. Загальний об'єм акумульованої води в них перевищує 40 км³, а їхні ресурси використовуються для водозабезпечення значної частини населення країни. Саме тому дослідження і регулювання процесів «цвітіння» в них є важливими для екологічної безпеки.

Поширення ціанобактеріальних «цвітінь» має комплексні наслідки для водних екосистем і суспільства. До основних екологічних ефектів належать зниження вмісту розчиненого кисню, порушення трофічних зв'язків, зменшення біорізноманіття та деградація водних біоценозів. Водночас наявність токсичних метаболітів становить загрозу для здоров'я населення, особливо в умовах використання водосховищ як джерел питного водопостачання. Додаткові ризики пов'язані з обмеженням рекреаційного використання водойм і зростанням витрат на водоочищення.

Цікаво зазначити, що за спостереженнями [6] у водоймах з меншою акваторією (<1000 км²) шкідливі «цвітіння» спостерігаються частіше (3,3%), ніж у великих (2,3%). Скоріш за все це зумовлено їх більш однорідною гідродинамічною структурою та нижчою буферною здатністю, що сприяє охопленню значної частини акваторії масовим розвитком ціанобактерій. У великих водосховищах розвиток «цвітіння», як правило, приурочений до мілководних заток та прибережних зон, тоді як основна акваторія піддається інтенсивнішому вітровому перемішуванню, що перешкоджає формуванню стійких поверхневих скупчень. Водночас саме у водосховищах та антропогенно трансформованих водоймах можуть спостерігатись «плями» цвітіння [2,5].

Також варто підкреслити, що гідродинамічні чинники визначають розвиток ціанобактерій як через прями механізми (течі, перемішування, коливання рівня), так і через опосередковані зміни середовища (водообмін, стратифікація, розподіл біогенів і світловий режим), зумовлюючи як пригнічення, так і стимуляцію їх розвитку. Наприклад, низька швидкість потоку сприяє росту водоростей, незначне коливання рівня води підвищує продуктивність водоростей та стимулює метаболізм, а помірна турбулентність води збільшує поглинання поживних речовин їх клітинами.

Отримані результати свідчать про чітко виражений глобальний характер явища та визначальну роль антропогенного навантаження у його поширенні.

У цьому контексті важливим є розвиток підходів до контролю ціанобактеріальних «цвітінь». До основних напрямів належать:

- 1) зменшення надходження біогенних речовин (очищення стічних вод; оптимізація сільськогосподарських практик; контроль дифузного забруднення)
- 2) управління гідрологічним режимом (регулювання рівнів води; зміна режимів попусків; зменшення застійних зон)
- 3) біологічні та технічні методи (регулювання трофічних ланцюгів; аерація та перемішування водної товщі; локальні заходи у зонах інтенсивного цвітіння).
- 4) моніторинг і прогнозування (використання супутникових даних; аналіз гідрометеорологічних факторів; розробка моделей прогнозування)

Перспективним напрямом є використання комплексних підходів, спрямованих на раннє виявлення ризиків формування «цвітінь» та підтримку управлінських рішень. Водночас ефективність таких підходів значною мірою залежить від урахування специфіки окремих водосховищ і регіональних умов.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках наукового проєкту № 2025.07/0394 «Розробка нових науково обґрунтованих підходів та методів контролю шкідливого «цвітіння» ціанобактерій у великих водосховищах як інструмент забезпечення екологічної безпеки держави» за договором № 23.07/0394 від 02.03.2026 року

Список використаної літератури

1. Вишневський В. Просторово-часова мінливість цвітіння водоростей у Дніпровських водосховищах. *Український журнал дистанційного зондування* 2019. 20. С. 18–27. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.20.144>
2. Іванова Н.О. «Цвітіння» води в Сасикському водосховищі. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. Київ, 2010. Т 2(19). С. 185-191.
3. Krztoń, W., Kosiba, J., Pocięcha, A. *et al.* The effect of cyanobacterial blooms on bio- and functional diversity of zooplankton communities. *Biodivers Conserv.* 2019, 28. P. 1815–1835. URL: <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01758-z>
4. Schindler D.W., Hecky R.E., McCullough G.K. The rapid eutrophication of Lake Winnipeg: greening under global change. *Journal of Great Lakes Research*, 2012. Vol. 38. P. 6–13. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.04.003>
5. Shcherbak V., Semeniuk N., Maistrova N. Harmful algal blooms in upper-cascade dnieper reservoirs under present conditions. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2026. (1). P. 62–73. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.01.062>
6. Ying W., Dan Zhao, R Iestyn Woolway, Haoran Yan, Hans W Paerl, Yi Zheng, Chunmiao Zheng, Lian Feng, Global elevation of algal bloom frequency in large lakes over the past two decades, *National Science Review*, 2025. Vol. 12. URL: <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf011>

І.А. Іванько, к.б.н.
О.В. Селютіна, к.б.н.
Л.В. Шупранова, к.б.н.
К.К. Голобородько, д.б.н.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Анотація. Бойові дії в Україні спричинили значні руйнування міських територій і деградацію зелених систем, ключовим елементом яких є деревні насадження. Відновлення цих систем потребує нових підходів з огляду на безпрецедентний рівень забруднення та трансформації урбоекосистем. Додатковим викликом виступають кліматичні зміни, що суттєво впливають на стійкість і функціональність деревостанів. У зв'язку з цим постає необхідність розробки нових методологічних засад і практичних рекомендацій для ефективного відновлення та управління міськими зеленими системами у повоєнний період.

Ключові слова: відновлення деревних насаджень, кліматичні зміни, міське середовище, міські зелені системи.

Активні воєнні дії на території України призвели до масштабних руйнувань населених пунктів та деградації або знищення міських зелених систем, структурним та функціональним каркасом яких є деревні насадження. Відбудова постраждалих від воєнних дій міст потребує нової концепції відновлення деревної рослинності, адже масштаби забруднення і трансформації урбоекосистем є безпрецедентними як для території України так і світу. Додатковим лімітуючим фактором є кліматичні зміни, що за останні 50 років набули вирішального впливу на стан деревостанів та їх біоремедіаційні та рекультиваційні функції. Поспівання цих двох факторів становить низку питань, без вирішення яких неможливе успішне відновлення зелених систем постраждалих територій. Це зумовлює необхідність впровадження нових методологічних засад по з'ясуванню стійкості деревних насаджень до різних факторів навколишнього середовища.

Нових екологічних сенсів набувають рекультиваційні заходи, які окрім врахування середовищевірного впливу деревних насаджень, повинні враховувати більш гнучку систему господарських функцій, що значно пришвидшить відновлення економічного та соціального добробуту місцевих громад. Проєктом передбачається розширення теоретичних уявлень про екологічні й господарські функції, кліматичну адаптивність деревних насаджень, що стане підґрунтям для розробки практичних рекомендацій із відновлення й подальшого управління міськими зеленими системами України у повоєнний період.

КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА БІОМАСИ *ZOSTERA MARINA* ЯК ОСНОВА ДЛЯ РОЗВИТКУ «СИНЬОЇ БІОЕКОНОМІКИ» УКРАЇНИ

Анотація. Досліджено можливості комплексної переробки *Zostera marina* як сировини «синьої біоекономіки». Метою роботи було оцінити склад біомаси та перспективи вилучення цільових продуктів. Отримані результати демонструють потенціал біомаси для виробництва біокомпозитів, біопалива та харчових і фармацевтичних інгредієнтів, що узгоджується з Біоекономічною стратегією ЄС та Цілями сталого розвитку ООН

Ключові слова: *Zostera marina*; морська біомаса; синя біоекономіка; сталий розвиток.

Морські трави роду *Zosteraceae*, зокрема *Zostera marina*, становлять цінне джерело біомаси для багатостадійної переробки. Штормові викиди цих рослин можуть бути використані як доступна та екологічно безпечна сировина для фармацевтичної, харчової, целюлозно-паперової та біоенергетичної галузей.

Хімічний склад *Z. marina* визначає її функціональні властивості та напрями використання (рис.1). Пектинові речовини (10–15 % сухої маси) характеризуються гелеутворюючими та антиоксидантними властивостями, що робить їх перспективними для фармацевтики та харчової промисловості. Целюлоза (25–35 %) є придатною для виготовлення паперу, біокомпозитів та отримання біоетанолу.

Ліпідна фракція (2–6 %) містить ряд жирних кислот, включно з омега-3 та омега-6, що забезпечує її придатність для виробництва біодизелю й нутрицевтиків. Фенольні метаболіти (флавоноїди, фенолкарбонові кислоти, таніни) проявляють антиоксидантну та протимікробну активність, що актуально для фармацевтики та косметології.

Комплексна технологічна схема переробки включає вилучення ліпідів органічними розчинниками, екстракцію пектину водно-кислотними системами та отримання фенольних сполук водно-спиртовими екстрактами. Волокнистий залишок після вилучення цільових компонентів може бути використаний як сировина для паперових матеріалів або субстрат для виробництва біогазу. Такий підхід мінімізує відходи й відповідає принципам циркулярної економіки.

Слід зазначити, що сезонні та географічні чинники суттєво впливають на якість сировини та мають враховуватись при плануванні виробничих циклів. Весняна біомаса містить більше білків і вуглеводів, тоді як восени зростає частка структурних полісахаридів (30–35 %), а вміст ліпідів максимальний влітку та восени.



Рис. 1. Сфери застосування та приклади продуктів отриманих з морських трав *Zosteraceae*

З точки зору відповідності стратегічних пріоритетів, використання *Z. marina* як сировини безпосередньо корелює з Цілями сталого розвитку ООН № 12 (відповідальне споживання та виробництво), № 13 (кліматичні дії) та № 14 (збереження морських екосистем). Крім цього курс України на євроінтеграцію передбачає адаптацію національної промислової політики до вимог Зеленого курсу ЄС (*European Green Deal*) та Стратегії «від ферми до виделки» (*Farm to Fork*), в рамках яких біоекономіка на основі відновлюваних морських ресурсів розглядається як пріоритетний напрямок.

Таким чином, *Zostera marina* є перспективним і стратегічно значущим ресурсом «синьої біоекономіки» Чорноморського регіону. Рациональне використання морських трав формує передумови для створення регіональних ланцюгів доданої вартості, розвитку екологічно орієнтованих виробництв і посилення позицій України у сфері «зеленої» та «синьої» економіки.

Науковий керівник – А.Д. Кустовська, к.х.н., доцент..

СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БІОХІМІЧНИХ МАРКЕРІВ СТАНУ ДЕРЕВ ДЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ

Анотація. Сучасні екологічні виклики, пов'язані з деградацією земель, техногенним забрудненням та наслідками воєнних дій, зумовлюють необхідність пошуку ефективних і екологічно безпечних технологій відновлення природних екосистем. Одним із перспективних напрямів є фіторе mediaція – використання рослин для очищення та стабілізації забруднених ґрунтів. Попри значний прогрес досліджень в цьому напрямі, більшість сучасних робіт зосереджена на трав'янистих рослинах, тоді як потенціал деревних видів залишається недостатньо дослідженим. Водночас саме деревні рослини можуть забезпечувати довготривалу стабілізацію забруднених територій та сприяти відновленню екосистемних функцій ґрунтів. Одним із ключових напрямів сучасних досліджень є пошук надійних біохімічних індикаторів, що дозволяють оцінити реакцію рослин на вплив забруднювачів та визначити їхній фіторе mediaційний потенціал.

Ключові слова: біохімічні маркери, фіторе mediaція, екологічний стан дерев.

Метою дослідження є розроблення концепції використання молекулярно-біохімічних маркерів для оцінювання стану деревних рослин і визначення їхнього потенціалу для застосування у фіторе mediaційних системах. Основна ідея полягає у створенні інтегрованої системи оцінювання, яка поєднує аналіз фізіолого-біохімічних реакцій дерев із характеристиками ґрунтового середовища та типами забруднення. Дослідженням передбачається визначення оптимального асортименту аборигенних та інтродукованих деревних видів, придатних для використання у фіторе mediaційних насадженнях. Особлива увага приділяється аналізу молекулярно-біохімічних змін у вегетативних органах деревних рослин на різних етапах онтогенезу під впливом токсичних речовин. Дослідження включатиме аналіз співвідношення основних елементів живлення (С:N:P) у системі «ґрунт–рослина», що дозволяє оцінити особливості нутрієнтного балансу та його вплив на адаптаційні механізми рослин. Очікується, що результати дослідження дозволять сформувати базу даних деревних видів із різним рівнем стійкості до забруднення та визначити ключові біохімічні індикатори, що характеризують їхній фіторе mediaційний потенціал. На основі отриманих результатів буде розроблено концептуальну модель використання молекулярно-біохімічних маркерів для добору деревних видів у системах фіторе mediaції.

Є. І. Коржов^{1,2}, к.г.н., доцент

В. А. Рудік³, завідувач лабораторії, аспірант,

¹ Інститут морської біології НАН України, Одеса;

² Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон

³ Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеса;

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ФОРМУВАННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ АРЕАЛІВ ВЕКТОРНИХ ВИДІВ КОМАРІВ У ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ ПРИЧОРНОМОР'І

Кровосисні комарі родини Culicidae є однією з найчисельніших і найбільш екологічно пластичних груп живих організмів. У процесі еволюційного розвитку вони змогли пристосуватися до широкого діапазону абіотичних умов, що забезпечило їхнє глобальне поширення. Завдяки фізіологічній гематофагії представники цієї родини мають векторну компетенцію до передавання численних патогенів (арбовірусів, протистів, гельмінтів, тощо) і становлять суттєву загрозу для громадського здоров'я.

В останні десятиліття у світі спостерігається зростання частоти спалахів відомих та поява нових інфекційних і паразитарних захворювань, переносниками яких є комарі. Процеси глобалізації й зміни клімату створюють нові екологічні простори, сприятливі для виживання й адаптації видів, що раніше були характерні лише для тропічних і субтропічних регіонів. Розвиток транспортної інфраструктури, масова міграція населення та урбанізація підсилюють процес інтродукції екзотичних векторів у нові території.

У Північно-Західному Причорномор'ї, яке характеризується інтенсивними кліматичними змінами, у нинішній час створюються передумови для закріплення нових видів комарів. За даними праці [2], підвищення середньорічної температури повітря та збільшення кількості опадів формують умови, що сприяють розширенню ареалів термофільних видів комарів. Зміщення піків зволоження з зимового на літній період забезпечує стійкі біотопи для виплуду комарів і збільшує ймовірність їх успішного розмноження в теплий сезон.

Для оцінки кліматичних передумов появи епідеміологічно небезпечних видів комарів на території Північно-Західного Причорномор'я проаналізовано окремі кліматичні показники наявних станцій спостережень отриманих з відповідних регіональних центрів з гідрометеорології, що знаходяться в межах регіону досліджень [Одеса (1899-2021 рр.), Сарата (1948-2021 рр.), Ізмаїл (1946-2021 рр.), Вилкове (1951-2021 рр.), Миколаїв (1899-2021 рр.), Херсон (1899-2021 рр.), Хорли (1951-2021 рр.), Генічеськ (1899-2021 рр.)]. Паралельно використано матеріали авторських моніторингових обстежень в Одеській області (2015-2025 рр.), у межах яких проводилися збори личинок і імаго комарів за допомогою стандартних методів морфологічної ідентифікації, а для видів комплексу *Anopheles maculipennis* s.l. – молекулярно-генетичної (ПЛР із використанням ITS2-маркера).

Аналіз багаторічних даних восьми метеостанцій засвідчив стійке підвищення середньорічної температури повітря з 1988 року – року переходу до сучасного «техногенного» періоду потепління [2].

Середні річні температури зросли з 9,7-10,3 °С до 11,0-12,0 °С, із піками до 13,8°С; холодний сезон скоротився, а теплий – подовжився. З 2010 р. метеорологічна зима спостерігалась лише у 2012 та 2017 роках. Опади стали більш нерівномірними: частішими стали зливи ≥ 80 мм/міс улітку, а зимові місячні суми зменшились < 40 мм.

У довгостроковій динаміці (1955-1987 та 1988-2021 рр.) регіон став теплішим у середньому на +3,0°С (західна частина Північно-Західного Причорномор'я) та +2,2°С (східна), річні суми опадів збільшились на 50–80 мм (рис. 1).

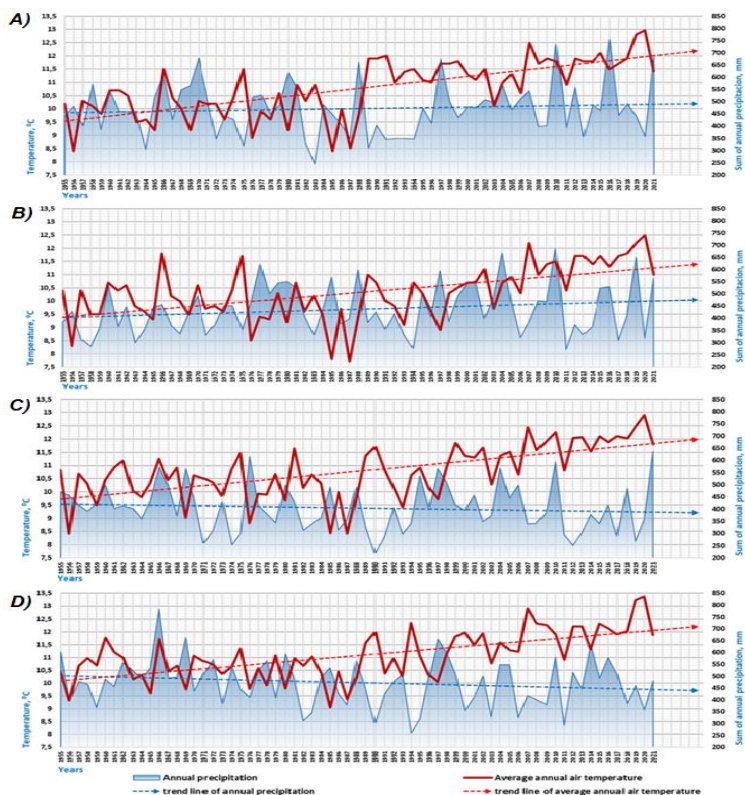


Рис. 1. Багаторічна динаміка температури повітря та річних сум атмосферних опадів в межах міст Одеса (А), Херсон (В), Генічеськ (С) та Ізмаїл (D) за період 1955-2021 рр.

Такі зміни створюють сприятливі гідротермічні умови для розповсюдження тропічних і субтропічних комарів у біотопах Причорномор'я, зокрема в урбанізованих ландшафтах. Це підтверджують польові спостереження: у 2023 р. – перше виявлення інвазійного *Aedes albopictus* Skuse, 1895 [3], який є ефективним переносником понад 30 патогенів. Поширення виду становить реальну загрозу виникнення арбовірусних інфекцій у південних регіонах України. У 2025 р. зафіксовано нові для фауни України представники комплексу *Anopheles maculipennis* s.l. – *An. labranchiae* Falleroni, 1926 та *An. melanoon* Hackett, 1934. Їх виявлення відображає тенденцію до зростання видового різноманіття компетентних векторів малярії, що підвищує векторний потенціал регіону та ускладнює сценарії поширення інфекцій через залучення нових переносників із різними екологічними характеристиками [1].

Отримані результати свідчать, що прогнозування регіональних кліматичних параметрів має входити до невід'ємної складової системи епідеміологічного нагляду, а виявлені тренди підтверджують тісний зв'язок між кліматичними змінами та ареальними зсувами векторних видів комарів.

Підвищення температури повітря та збільшення опадів у Північно-Західному Причорномор'ї створюють сприятливі умови для розширення ареалів тропічних та субтропічних комарів. Виявлення *Ae. albopictus*, *An. labranchiae* та *An. melanoon* підтверджує активізацію процесів інвазії та необхідність інтеграції ентомологічного моніторингу до системи загального екологічного спостереження.

Прогнозування кліматичних параметрів дозволяє своєчасно виявляти регіони потенційного поширення епідеміологічно небезпечних видів та попереджати (прогнозувати) можливі видові інвазії. Розробка регіональних програм моніторингу кліматичних змін є ключовою передумовою сталого розвитку регіону та збереження екологічної рівноваги.

Список використаної літератури

1. Рудік, В. А., Чеботар, С. В. Перші результати молекулярної ідентифікації видів комплексу *Anopheles maculipennis* s. l. в Одеській області: нові дані для фауни України. *Вісник ОНУ. Біологія*, 2025, т. 30, вип. 1(56), с. 71–87. DOI: [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2025.1\(56\).337319](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2025.1(56).337319).
2. Rudik V. A., Korzhov Ye. I. Dynamics of climatic predictors of a possible invasion of epidemiologically dangerous blood-sucking mosquitoes (Diptera: Culicidae) into North-Western Black Sea Coast areas / *Biological sciences and education in the context of European integration: Scientific monograph*. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2024. – Pp. 63-80. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-443-6-4>.
3. Rudik, V., Korzhov, Y. The first confirmed records of the invasive and epidemiologically significant mosquito species *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in southern Ukraine. *GEO&BIO*, 2025. vol. 27, pp. 195–202. DOI: <https://doi.org/10.53452/gb2715>.

ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЯКІСТЬ ВОДИ ТА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ РІЧКИ ДНІПРО В ОКОЛИЦЯХ МІСТА ХЕРСОН

***Анотація.** У роботі досліджено вплив військових дій на гідроекологічний стан річки Дніпро в околицях міста Херсон. На основі аналізу результатів моніторингу якості води виявлено значне погіршення її фізико-хімічних показників. Зокрема, зафіксовано перевищення ГДК за нітрит-іонами у 1,5 рази та за показника БСК₅ у 1,57 рази. Визначено основні джерела забруднення, пов'язані з руйнуванням каналізаційної інфраструктури, потраплянням продуктів детонації та нафтопродуктів у водне середовище.*

Ключові слова: мілітарне забруднення, поверхневі води, військові дії.

Повномасштабна збройна агресія російської федерації проти України призвела не лише до гуманітарної катастрофи та руйнування інфраструктури, але й спричинила безпрецедентне навантаження на навколишнє природне середовище. В умовах воєнного стану екологічна безпека водних ресурсів стає критичним чинником стабільності регіонів, особливо тих, що мають стратегічне значення для водопостачання, сільського господарства і транспорту. Річка Дніпро, як найбільша водна артерія України, зазнає значного впливу бойових дій, що загрожує довгостроковими наслідками для екосистем та здоров'я населення.

Особливу стурбованість викликає екологічний стан ділянки Дніпра в околицях міста Херсон. Цей регіон впродовж тривалого часу перебував у зоні активних бойових дій, окупації та контрнаступальних операцій. Інтенсивні обстріли, руйнування берегової інфраструктури, пошкодження каналізаційних систем, затоплення військової техніки та потрапляння продуктів детонації боеприпасів у водне середовище створюють комплексне забруднення, природа якого відрізняється від звичайного антропогенного навантаження мирного часу. Додатковим фактором ризику є порушення гідрологічного режиму та неможливість проведення регулярного моніторингу якості води в період активної фази конфлікту.

Незважаючи на наявність загальних оцінок екозбитків війни в Україні, систематизовані дані щодо гідрохімічного стану Дніпра саме в Херсонському регіоні залишаються фрагментарними [1]. Відсутність своєчасної інформації про концентрацію забруднювачів (важких металів, нафтопродуктів, токсичних сполук) унеможливає своєчасне реагування та планування заходів із відновлення екосистеми. Це актуалізує необхідність комплексного аналізу впливу військових дій на якість води та екологічну безпеку даної ділянки річки.

Для оцінки впливу військових дій на якість води та екологічну безпеку річки Дніпро в околицях міста Херсон, нами проаналізовано дані Державного агентства водних ресурсів України щодо моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів [2]. До уваги бралися дані по двох точках спостереження – правий берег Дніпра, 0 км в межах м. Херсон (район гідропарку) та 1 км вище міста Херсона (табл. 1). Дані моніторингу станом на вересень 2024 року.

Відповідно до цих даних, у 2024 році в річці Дніпро, в околицях міста Херсон (в обох точках спостереження) було зафіксовано перевищення ГДК по показнику нітрит-іон в 1,5 рази. Окрім цього в точці №2 – 1 км вище м. Херсон, зафіксовано перевищення показника БСК₅ в 1,57 рази (табл. 1).

Таблиця 1

Показники якості поверхневих вод р. Дніпро в околицях м. Херсон

Показник	ГДК	Правий берег річки Дніпро, 0 км в межах м. Херсон (район гідропарку)	Правий берег річки Дніпро, 1 км вище міста Херсон
Азот загальний, мг/дм ³		0,57	1,1
Біохімічне споживання кисню (БСК ₅), мгО/дм ³	3,0	2,5	4,7
Завислі речовини, мг/дм ³	15,0	10,0	11,0
Розчинений кисень, мгО ₂ /дм ³	4,0	8,9	8,2
Сульфат-іони, мг/дм ³	100,0	80,0	86,0
Хлорид-іони, мг/дм ³	300,0	28,0	32,0
Амоній-іони, мг/дм ³	0,5	0,083	0,079
Нітрат-іони, мг/дм ³	40,0	1,9	2,3
Нітрит-іони, мг/дм ³	0,08	0,12	0,9

Ймовірними джерелами потрапляння нітрит-іонів у води р. Дніпро в околицях м. Херсон можуть бути пошкодження каналізаційних очисних споруд та насосних станцій (неконтрольовані скиди неочищених стоків), руйнування тваринницьких комплексів, складів добрив (вимивання нітратів/нітритів у річку), затоплення військової техніки, боєприпасів, паливно-мастильних матеріалів тощо.

Нітрити є високотоксичними для риб та безхребетних, оскільки взаємодіють із гемоглобіном крові, утворюючи метгемоглобін, який нездатний переносити кисень. Для чутливих видів навіть короткочасний вплив концентрацій >3 мг/дм³ може спричинити фізіологічний стрес або летальні наслідки.

При вживанні води з підвищеним вмістом нітритів можливе виникнення метгемоглобінемії, особливо у дітей раннього віку («синдром блакитної дитини»). У шлунково-кишковому тракті нітрити можуть реагувати з амінами, утворюючи нітрозаміни – сполуки з доведеним канцерогенним потенціалом.

Щодо дефіциту розчиненого кисню, то перевищення норми біологічного споживання кисню на 57% свідчить про інтенсифікацію біохімічних процесів, що може призвести до зниження концентрації розчиненого кисню нижче критичного рівня (4-5 мг/дм³) для більшості риб. При дефіциті кисню активізуються анаеробні процеси, супроводжувані виділенням сірководню (H₂S), метану (CH₄) та аміаку (NH₃), що погіршує органолептичні властивості води та посилює токсичне навантаження [3].

За результатами аналізу даних Державного агентства водних ресурсів України щодо моніторингу та екологічної оцінки якості води річки Дніпро в околицях міста Херсон, встановлено стійке перевищення ГДК за ключовими санітарно-хімічними показниками. Зокрема, зафіксовано перевищення вмісту нітрит-іонів у 1,5 рази та показника БСК₅ у 1,57 рази порівняно з нормативами для водних об'єктів

господарсько-побутового використання. Такі відхилення свідчать про інтенсивне надходження свіжих органічних забруднень та порушення природних процесів нітрифікації, що є прямим наслідком руйнування каналізаційної інфраструктури, аварійних скидів неочищених стічних вод в умовах бойових дій [4].

Виявлено синергетичний ефект взаємодії забруднювачів: високе органічне навантаження (підтверджене ростом БСК₅) призводить до зниження концентрації розчиненого кисню, що, у свою чергу, гальмує окиснення токсичних нітритів до менш небезпечних нітратів. Це створює умови для тривалого збереження токсичності водного середовища для гідробіонтів, зокрема для видів риби, чутливих до кисневого голодування та метгемоглобінемії. Існує реальна загроза розвитку евтрофікаційних процесів та масового «цвітіння» води у вегетаційний період, що може спровокувати заморні явища та втрату біорізноманіття в нижній течії Дніпра.

На відміну від традиційного антропогенного навантаження мирного часу, сучасне забруднення річки в Херсонському регіоні має дифузний та катастрофічний характер [1]. Основними джерелами виступають пошкоджені очисні споруди, затоплена військова техніка, продукти детонації боєприпасів та зруйновані об'єкти агропромислового комплексу. Неможливість проведення планових превентивних заходів та оперативного ліквідування аварійних ситуацій у період активної фази конфлікту призвела до накопичення забруднюючих речовин у донних відкладах, які можуть слугувати вторинним джерелом забруднення впродовж тривалого часу після завершення бойових дій.

Список використаної літератури:

1. Афанасьєв С.О. Вплив війни на гідроекосистеми України: підсумки першого року повномасштабного вторгнення росії (огляд). *Гідробіологічний журнал*. 2023. Т. 59. С. 3-19.
2. Державне агентство водних ресурсів України. Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України. URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>
3. Kirei V. V. (2024). The impact of armed conflicts on natural ecosystems and environmental protection. *National Interests: Priorities and Security*, 20(7), 1377-1393. <https://doi.org/10.24891/ni.20.7.1377>
4. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A. et al. (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>

ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Анотація. *Воєнні дії на території України спричинили безпрецедентне навантаження на довкілля, особливо на сільськогосподарські угіддя та водні об'єкти. Забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами, вибуховими речовинами, руйнування меліоративних систем, підтоплення територій та забруднення акваторій створюють довгострокові загрози екологічній безпеці. У статті наведено оцінки масштабів ураження агроєкосистем, проаналізовано основні чинники антропогенного впливу та окреслено першочергові заходи для відновлення.*

Ключові слова: війна, агроєкосистеми, ґрунти, водні ресурси, забруднення, екологічний моніторинг, екологічна безпека.

Повномасштабне вторгнення спричинило катастрофічні зміни стану довкілля України. За оцінками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, станом на початок 2025 року внаслідок бойових дій постраждало понад 2,4 млн га сільськогосподарських земель, з них близько 500 тис. га перебувають у зоні активних обстрілів або тимчасово окуповані [1]. Значна частина цих територій зазнала механічного руйнування верхнього шару ґрунту, забруднення вибуховими речовинами та важкими металами.

Серед найбільш небезпечних чинників впливу на агроєкосистеми є:

- утворення вирв, окопів, ходів сполучення, що порушує цілісність ґрунтового покриву;

- забруднення ґрунтів нафтопродуктами внаслідок пошкодження техніки та паливосховищ;

- потрапляння залишків недетонованих боєприпасів та їх компонентів (тротил, грекоген тощо);

- засолення та підкислення ґрунтів через хімічні реакції продуктів вибуху.

За даними Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру, близько

10% орних земель Харківської, Донецької, Херсонської, Миколаївської областей втратили родючість через фізичне руйнування або хімічне забруднення [2].

Особливої уваги потребує стан водних ресурсів. Підрив Каховської ГЕС у червні 2023 року спричинив екологічну катастрофу регіонального масштабу: затоплено понад 600 км² територій, змито верхній родючий шар ґрунтів на площі понад 50 тис. га, у водойми потрапило близько 150 тис. тон нафтопродуктів та понад 30 тис. тон хімічних речовин [3]. Внаслідок цього якість води у нижній течії Дніпра та в Чорноморській акваторії значно погіршилася, що призвело до масової загибелі гідробіонтів та порушення зрошення на півдні України.

Експерти Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP) наголошують,

що наслідки війни для екосистем будуть відчутними десятиліттями. За попередніми оцінками, для відновлення родючості ґрунтів та очищення водних об'єктів знадобиться від 10 до 30 років, а сукупні збитки сягають понад 10 млрд дол. США [4].

Водночас в Україні вже розроблено низку програм з екологічного моніторингу та відновлення. Зокрема запроваджено обов'язкове обстеження земель сільськогосподарського призначення на вміст вибухових речовин та важких металів перед початком посівної. Розпочато роботи з рекультивациі порушених земель, відновлення меліоративних систем та створення захисних лісосмуг.

Для відновлення родючості ґрунту, забрудненого металами, що потрапили в нього, на практиці використовуються тільки дві хімічні реакції: вилуговання легкорухомих металів і перехід металу в ґрунти в його важкорухому формі. Але універсальної методики очищення ґрунту немає і не буде, тому що хімічна дія по видаленню важких металів завжди буде залежати від характеру даного ґрунту, його властивостей, від ступеня забруднення, від реакції рослин, що виростають на ньому, і багатьох інших факторів.

В цьому напрямку становлять інтерес підходи так названого компромісного землеробства. Ідея компромісу складається в спільному використанні альтернативного і звичайного способів землеробства, що сповільнювало б темпи втрати головної споживчої якості ріллі – родючості ґрунту.

Також провідною тенденцією світового відновлення меліоративних систем є переведення їх на екологічні основи, що базуються на законах природи і ландшафтної екології. Сутність такого підходу, як і ідея компромісу, полягає в наближенні функцій агроєкосистеми до функцій природних екосистем. Іншими словами, людина повинна імітувати природні процеси. Удосконалені меліоративні системи засновані на адаптивності біологізації їх на ландшафтній основі. Таке ландшафтне землеробство має основні переваги:

- зменшує інтенсивність посухи;
- створює умови для стабілізації і підвищення родючості ґрунтів;
- збереже чистоту водоносних горизонтів;
- створює стійкі екологічні системи, що поліпшує агросередовище;
- забезпечує біологізацію землеробства і підвищення його економічної ефективності.

Приведені принципи екологічного ведення сільськогосподарських земель, дозволять одержати і відновити стабільність агроландшафтів і поступово перейти на шлях стійкого розвитку сільськогосподарських територій.

Екологічна безпека сільськогосподарських територій та акваторій є критичною складовою національної безпеки України. Восні дії спричинили масштабну деградацію ґрунтів, забруднення водних джерел та руйнування інфраструктури водокористування. Тому для мінімізації наслідків необхідно забезпечити системний моніторинг стану довкілля на основі сучасних інформаційних технологій з використанням штучного інтелекту, встановити систематичний контроль за виконанням природоохоронних заходів, створити дієві механізми фінансування відновлювальних заходів особливо тих, що встановлюють пільги та компенсації за добросесне виконання законодавчих актів, а також інтегрувати екологічні вимоги до всіх програм повоєнної відбудови.

Список використаної літератури

1. Держгеокадастр: результати обстеження земель у зонах бойових дій. URL: <https://land.gov.ua> (дата звернення: 12.04.2025).
2. Міндовкілля: через війну постраждало майже 2,4 млн га сільгоспземель. URL: <https://mepr.gov.ua/news/44145.html> (дата звернення: 12.04.2025).
3. Звіт про екологічні наслідки підриву Каховської ГЕС. Київ: Український гідрометеорологічний інститут, 2024. 112 с.
4. UNEP: Ukraine war environmental damage reaches \$10 billion. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/unep-ukraine-war-environmental-damage-reaches-10-billion> (accessed: 12.04.2025).
5. Екологічна безпека сільськогосподарських територій в умовах воєнного стану: колективна монографія / за ред. В.А. Барановського. Київ: НУБіП, 2024. 280 с.

ВПЛИВ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ІХТІОФАУНИ ПРІСНОВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Анотація. У тезах розглянуто вплив абіотичних факторів на формування іхтіофауни прісноводних екосистем. Показано значення гідрологічного, температурного, оптичного та газового режимів водойм у формуванні структури іхтіоценозів. Встановлено, що зміни гідрологічного режиму, прозорості води та кисневого балансу впливають на умови існування, розмноження та кормову базу риб, що визначає чисельність і видовий склад популяцій.

Ключові слова: іхтіофауна, прісноводні екосистеми, абіотичні фактори, гідрологічний режим, іхтіоценоз.

Формування іхтіофауни прісноводних екосистем є динамічним процесом, який безпосередньо залежить від комплексу абіотичних параметрів середовища. До таких параметрів можна віднести гідрологічний, температурний та оптичний режими водойм.

Серед них визначальну роль відіграє гідрологічний режим, що включає швидкість течії, коливання рівня води та морфометрію русла. Для багатьох річок України (наприклад, таких як Дністер), природний гідрограф зі збереженою паводковою активністю є життєво необхідним для успішного відтворення риб. Весняне водопілля забезпечує доступ дорослих особин до заплавних лук, які слугують ідеальними нерестовищами. У той же час на зрегульованих ділянках (наприклад, р. Дніпро) режим коливання рівнів часто визначається роботою гідроелектростанцій, що створює ризики обсихання ікри на мілководдях або замулення місць розмноження.

Швидкість течії виступає потужним екологічним фільтром, який розділяє іхтіофауну на реофільні та лімnofільні угруповання. Реофіли, характерні для руслових ділянок Дністра, адаптовані до постійного руху води, що забезпечує високу концентрацію кисню та специфічний склад донних відкладень. У каскаді дніпровських водосховищ, де швидкість течії суттєво сповільнена, умови наближаються до озерних. Це спричиняє поступове заміщення проточних видів риб тими, що віддають перевагу стоячій воді. Подібна трансформація гідрологічного режиму докорінно змінює структуру іхтіоценозу, оскільки впливає на метаболізм гідробіонтів та їхню енергетичну ефективність.

Температурний режим водойми є іншим фундаментальним фактором, що визначає швидкість біохімічних реакцій у тілі риб. Будучи пойкилотермними організмами, риби мають чітко окреслені температурні оптимуми для живлення, росту та розмноження. У прісноводних екосистемах України сезонна динаміка температур контролює терміни нересту та тривалість інкубаційного періоду ікри. Важливо враховувати, що тривале прогрівання води влітку, яке стає все частішим через кліматичні аномалії, призводить до зниження розчинності кисню. Це створює критичні умови для життя багатьох видів, особливо у глибоких шарах водойм, де може виникати явище термічної стратифікації та придонного дефіциту кисню.

Окремим, але не менш вагомим фактором впливу є оптичні властивості води, зокрема її прозорість та світловий режим. Рівень проникнення сонячного світла у товщу води визначає глибину фотосинтезуючого шару, де формується первинна продукція - основа всього харчового ланцюга. У каскаді дніпровських водосховищ прозорість води часто знижується через інтенсивний розвиток планктону та зважених часток, що суттєво обмежує можливості візуальних хижаків, таких як судак або жерех. Це змушує риб адаптуватися, покладаючись на органи бічної лінії та нюх, або ж призводить до витіснення певних видів з їхніх традиційних ділянок проживання.

Світловий режим також виступає потужним регулятором добової та сезонної активності іхтіофауни. Фотоперіодизм, тобто співвідношення тривалості дня і ночі, дає рибам сигнал до початку міграцій або підготовки до нересту. У глибоководних ділянках та замулених руслах, де світло практично не досягає дна, формуються специфічні умови, сприятливі для донних видів, наприклад, сома або миня. Зміна прозорості води внаслідок антропогенної діяльності, зокрема через змив ґрунтів з полів або видобуток піску, стає дестабілізуючим чинником, який порушує природні механізми орієнтації та живлення риб, що в кінцевому підсумку впливає на виживання молоді та загальну чисельність популяції.

Газовий режим, насамперед концентрація розчиненого у воді кисню, є лімітуючим чинником, який часто визначає межі розселення видів. Висока насиченість киснем у верхів'ях річок та на перекатах створює сприятливі умови для цінних видів риб, тоді як застійні зони з інтенсивним розкладом органіки стають непридатними для більшості іхтіофауни. Взаємодія всіх перерахованих природних факторів створює унікальний екологічний профіль кожної водойми.

Стан кормової бази є сполучною ланкою між абіотичними факторами та чисельністю іхтіофауни. Розвиток фіто- та зоопланктону, а також бентосних організмів безпосередньо корелює з температурним та світловим режимами, а також із наявністю поживних речовин. Багатство кормового ресурсу визначає не лише темпи росту окремих особин, а й загальну біопродуктивність водойми. У Дніпрі через процеси евтрофікації спостерігається надмірний розвиток синьо-зелених водоростей, що може мати токсичний вплив на кормові об'єкти риб. Натомість у Дністрі кормова база значною мірою залежить від змиву органіки з водозбірної площі та стану прибережних екосистем, що підкреслює важливість збереження цілісності річкової долини.

Розуміння цих механізмів дозволяє екологу відрізнити природні коливання чисельності риб від тих змін, що спричинені антропогенним втручанням, що є ключовим аспектом для об'єктивного моніторингу.

Науковий керівник – І. В. Клімова, к.т.н., доц.

ЕКОЛОГО-ЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НОВОГО МІСЦЕЗРОСТАННЯ *HYACINTHELLA LEUCOPHAEA* (К.КОХ) SCHUR НА ПОЛТАВЩИНІ (УКРАЇНА)

Анотація. У даній публікації надається еколого-ценотична характеристика нового місцезростання *Hyacinthella leucophaea* – регіонально рідкісного для Полтавської області созофіта. Наводяться особливості біотопу з *H. leucophaea*, деякі демекологічні показники та акцентується на необхідності збереження та охорони нового місцезнаходження виду.

Ключові слова: *Hyacinthella leucophaea*, созофіт, нове місцезнаходження, збереження та охорона, Кременчуцький район, Полтавська область.

Концепція збереження біорізноманіття передбачає передусім забезпечення охороною рідкісних видів як індикаторів змін навколишнього природного середовища. Тому вивчення особливостей їх поширення, екології, умов існування є важливим у контексті їх збереження.

Hyacinthella leucophaea (К.Кох) Schur – це рідкісний північно-причорноморський ендемік, що має регіональний созологічний статус в ряді адміністративних областей України (Вінницька, Дніпропетровська, Донецька, Житомирська, Запорізька, Івано-Франківська, Кіровоградська, Київська, Луганська, Одеська, Сумська, Тернопільська, Харківська, Херсонська, Хмельницька, Чернівецька, Чернігівська), зокрема він включений до регіонального списку Полтавщини [1].

У Полтавській області охороняється в 12 об'єктах природно-заповідного фонду (в заказниках «Величківський», «Воскобійницький», «Чутівські степи», «Рожаївський», «Драбинівка», «Балка Долина», «Дикунова балка», «Олегова балка», «Лучківський», «Глибочанський», пам'ятці природи «Пустовітка», регіональному ландшафтному парку «Диканський») [2].

H. leucophaea – це ранньовесняний ефемероїд роду *Hyacinthella* родини *Asparagaceae*, заввишки 7-25 см. Рослини мають яйцеподібну цибулину, лінійні, з ковпачкоподібною верхівкою, листки, звужені до основи із випнутими жилками (10-20 см завдовжки). Суцвіття довгасто-циліндричне, густе (6-25 білувато-голубих квіток). Цвітіння відбувається у квітні- травні, а плодоношення – у травні-червні.

Через антропогенний вплив (надмірне випасання, розорювання степових ділянок, збирання на букети, зміну біотопів та інше) – вид зникає.

Навесні 2025 року (05.04) у ході фітосоцологічних досліджень нами виявлено нове місцезнаходження *H. leucophaea* на території Кременчуцького району Полтавської області, а на початку квітня 2026 року (04.04) воно повторно нами обстежено. Територія, де виявлено зростання *H. leucophaea*, знаходиться між селом Підгірне та ландшафтним заказником місцевого значення «Балка Широка» (ближче до заказника). У західному напрямі від заказника розташована схилова ділянка, що зайнята лучно-степовою рослинністю, де і зростає *H. leucophaea*. Північніше від неї

знаходиться яр, зайнятий широколистяним лісом природного походження, а західніше – хвойнолісове насадження із *Pinus nigra subsp. Pallasiana* (Lamb.) Holmboe. На момент досліджень особини *H. leucophaea* квітували. Щільність ценопопуляції за підрахунками становить близько 50 особин на 1 м². Рослини не пошкоджені, знаходяться в доброму стані, проходять всі стадії наземного розвитку. Загальна площа ценопопуляції становить близько 0,2 га.

Домінантами фітоценозів із *H. leucophaea* виступають *Poa angustifolia* L., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Bromus inermis* Leyss., *Stipa capillata* L.

Основне флористичне ядро угруповання, до якого приурочений *H. leucophaea*, складають: *Achillea submillefolium* Klok & Krytzka, *Fragaria viridis* Duch., *Ranunculus polyanthemos* L., *R. illiricus* L., *Veronica austriacalis* L., *Plantago stepposa* L., *Thymus marschallianus* Willd., *P. lanceolata* L., *Vicia villosa* L., *V. cracca* L., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Stachys erecta* L., *Phlomis tuberosus* L., *Thymus marschallianus* L., *Campanula sibirica* L., *Potentilla argentea* L., та ін.

У 2024-2025 роках на цій ділянці було виявлено також ряд інших созофітів: *Muscari neglectum* Guss. ex Ten., *Iris pumila* L., *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. s.l. [3].

У цілому, досліджувана територія, де виявлено місцезнаходження *H. leucophaea*, репрезентує зональні для півдня Лівобережного Лісостепу біотопи лучних степів із добре збереженим степовим флористичним ядром. Вона є цінною як біоцентр збереження раритетного та типового лучно-степового фіторізноманіття та осередок збереження генофонду рідкісних видів рослин, серед яких і *H. leucophaea*.

Із огляду на важливість збереження виявленого нового місцезнаходження *H. leucophaea* розглядається можливість його охорони шляхом приєднання досліджуваної території до ландшафтного заказника місцевого значення «Балка Широка», який знаходиться неподалік (на відстані 0,2 км).

Список використаних джерел

1. Андрієнко Т. Л., Перегрим М. М. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України : *довідкове видання*. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.
2. Байрак О. М., Стецюк Н. О. Атлас рідкісних і зникаючих рослин Полтавщини. *Наукове видання*. Полтава : Верстка, 2005. С. 167.
3. Левицька А. С. Нові місцезнаходження *Crocus reticulatus* на Полтавщині (Україна). *Екологічна безпека держави* : тези доповідей XIX Всеукр. наук.-пр. конф. молодих учених та студентів, 17 квітня 2025 р., м. Київ. К. : НАУ, 2025. С. 65.

Науковий керівник – Н. О. Смоляр к.б.н., доцент

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ТЕРЕБЛЯ У МЕЖАХ НПП «СИНЕВИР»

Анотація. *Проведено систематичне дослідження (2024-2025 рр.) щодо оцінки екологічного стану води річки Терєбля у мажах НПП «Синевир». Встановлено погіршення стану води (після населених пунктів) річки Терєбля за деякими гідрохімічними показниками (блок показників трофо-сапробіологічного стану та показників вмісту специфічних речовин), що пов'язано з антропогенною діяльністю.*

Ключові слова: забруднення, антропогенне навантаження, комунально-побутові стічні води, якість вод, забруднювальні речовини.

Національний природний парк «Синевир» є одним із найбільш привабливих об'єктів туристично-рекреаційної галузі Закарпатської області, тому зазнає значного туристично-рекреаційного навантаження. Протягом 2024 та 2025 років НПП «Синевир» відвідало, відповідно, 149,6 та 142,8 тисяч туристів, більшість з яких – відвідувача протягом 1-3 днів. Серед домінуючих антропогенних впливів на НПП «Синевир» можна виділити вплив на водні об'єкти, зокрема річку Терєбля. Оцінка екологічного стану води річки Терєбля у межах НПП «Синевир» показала, що стан води річки погіршується за рахунок скиду комунально-побутових стічних вод населеними пунктами (с. Синевирська Поляна, Синевир, Негровець, Колочава), що узгоджується з даними [1]. Причиною цього є значна кількість садиб, міні-готелів та дворогосподарств туристично-рекреаційної інфраструктури, які водовідведення стічних вод здійснюють безпосередньо у річку Терєбля, без належної їх очистки. Серед показників екологічного стану річкової води, які змінюються найбільш відчутно, слід зазначити ХСК і БСК₅, вміст СПАР і фосфатів, а також неорганічні сполуки Нітрогену. Найбільше погіршення стану води річки Терєбля спостерігається після с. Синевирська Поляна, у межах якого спостерігається значне порушення русла річки (за рахунок використання вантажних транспортних засобів, що рухаються вброд) та часткова загибель молодняка річкової форелі, яка є біоіндикатором стану вод гірських річок.

Список використаних джерел

1. Фенцик О., Станкевич-Волосянчук О. Звіт щодо стану річкових екосистем басейну Верхньої Тиси (у межах України): джерела забруднення, негативні впливи, трансформація та рекомендації до поліпшення ситуації. Ужгород, 2023. 30 с.

Науковий керівник – С. М. Сухарев, д.х.н., професор

ANALYSIS AND MONITORING OF AIR QUALITY IN ZAPORIZHZHIA UNDER WAR CONDITIONS

Abstract. *The abstract analyzes the state of atmospheric air in the industrial center of Zaporizhzhia. The main pollutants and their sources are identified. The dynamics of emissions are considered in the context of regional sustainable development and the impact of military actions.*

Keywords: environmental safety, atmospheric air, monitoring, industrial emissions, Zaporizhzhia, martial law.

The problem of air pollution in Zaporizhzhia remains one of the most acute environmental issues in Ukraine. The city is characterized by a high concentration of ferrous and non-ferrous metallurgy, energy, and mechanical engineering enterprises. The main specific pollutants recorded by the monitoring network are dust, nitrogen dioxide, phenol, hydrogen fluoride, and formaldehyde. High pollution levels are caused by both significant emission volumes and unfavorable meteorological conditions (calms, inversions) inherent in the landscape of the Dnipro River valley.

Air pollution in Zaporizhzhia has significantly worsened as a result of the ongoing war, creating serious environmental and public health challenges. Military actions, including shelling and missile strikes, have damaged industrial facilities, energy infrastructure, and storage sites, releasing harmful pollutants such as particulate matter, toxic gases, and heavy metals into the air. Fires caused by attacks often burn for long periods, further increasing the concentration of dangerous substances in the atmosphere.

In addition, the disruption of environmental monitoring systems makes it difficult to accurately measure pollution levels and respond effectively. Residents are exposed to increased risks of respiratory diseases, cardiovascular problems, and long-term health complications. To improve the environment, it is necessary to implement automated continuous control systems directly at emission sources and modernize treatment equipment. Overall, the war has intensified air pollution in Zaporizhzhia, highlighting the urgent need for environmental protection measures and restoration of monitoring systems to mitigate long-term impacts.

Supervisor – T.V. Dudar, Dr.Eng.Sc., professor

ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ СФЕРИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я: ДЕРЖАВНИЙ ПІДХІД У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ ТА ПОЗИЦІЯ УКРАЇНИ

Анотація. *Охорона здоров'я, як і кожен сектор суспільства, несе відповідальність за узгодження своїх дій та траєкторій розвитку у відповідності з Паризькою угодою, щоб запобігти найгіршим наслідкам зміни клімату. Україна продовжує курс на досягнення цілей сталого розвитку, зокрема, декарбонізацію, незважаючи на виклики воєнного стану. Державна політика та інвестиції в галузі охорони здоров'я в кожній країні мають бути орієнтовані на підтримку декарбонізації задля збереження умов для здорового життя.*

Ключові слова: декарбонізація, енергоефективність, відновлювана енергетика, сталий розвиток, управління медичними закладами.

Зміна клімату загострює існуючі проблеми зі здоров'ям населення та призводить до появи нових загроз, включаючи збільшення кількості респіраторних та серцево-судинних захворювань та передчасної смерті, пов'язаних з екстремальними погодними явищами. Це призводить до додаткових витрат через вплив на людський капітал, таких як втрата продуктивності і погіршення економічних показників у кожній країні. Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК), засновником якої є ООН, прийшла до висновку, що запобігання найгіршим наслідкам зміни клімату шляхом обмеження глобального потепління до 1,5°C, що є амбіцією Паризької угоди, «вимагатиме швидких, далекосяжних та безпрецедентних змін у всіх аспектах життя суспільства». У даний час міжнародним трендом державної політики у сфері охорони здоров'я є декарбонізація, направлена на зменшення вуглецевого сліду медичних закладів [1-3].

Україна продовжує інтеграцію Цілей сталого розвитку (ЦСР) у національну політику, незважаючи на військові дії, включно з виконанням зоб'язань щодо пом'якшення наслідків зміни клімату, впровадженням відновлюваної енергетики та покращенням охорони здоров'я (цілі 13,7,3). У попередні роки Україна демонструвала поступовий прогрес, досягнувши 36-го місця серед 165 країн (2023 р.) у міжнародному рейтингу Sustainable Development Report, що оцінює прогрес країн у досягненні цілей сталого розвитку, включаючи декарбонізацію економіки [4]. В той же час, звіт 2025 року свідчить про зменшення темпів глобального досягнення цілей. Україна посіла 42 місце серед 193 країн-членів ООН. Лідерами глобального рейтингу в 2025 році традиційно стали європейські країни: Фінляндія (1 місце), Швеція (2 місце) та Данія (3 місце) [4]. Зазначені тенденції в нашій державі є наслідками повномасштабного російського вторгнення на територію України, які ставлять під загрозу досягнення країною цілей сталого розвитку та реалізацію попередньо сформованих стратегій у цій сфері. Окрім традиційного вкладу підприємств індустрії та теплоенергетики, у 2022 -2026 роках році основним

джерелом викидів CO₂ стали військові дії на території країни, що спричинило зростання викидів на 23% та надходження близько 33 мільйонів тонн вуглецю щорічно в атмосферу [5].

Слід також зазначити, що велика частина енергії, яка використовується в Україні, втрачається через застарілі технології та неефективне використання. Для досягнення більшої енергоефективності необхідно модернізувати енергетичний сектор, а також сприяти впровадженню енергоефективних технологій у різних галузях економіки, зокрема у сфері охорони здоров'я. Для того, щоб дії щодо зміни клімату впроваджувалися у великих масштабах у лікарнях та системах охорони здоров'я, необхідно застосувати багато зовнішніх мотиваторів та стимулів. До них належать фінансові та платіжні стимули для просування важливих заходів з декарбонізації, політика та нормативні акти для забезпечення підзвітності, нові стандарти та зобов'язання щодо впровадження енергоефективних технологій. Необхідні додаткові дії для зменшення викидів, пов'язаних з системами енергозабезпечення, транспортом, споживанням медичних послуг та ланцюгами поставок, які становлять більшість викидів у сфері охорони здоров'я. Задля зростання частки відновлюваної енергетики у загальній енергетичній потужності доцільним є децентралізація генерації різних видів відновлюваної енергії (сонячної, вітрової, біогазу). Застосування децентралізованої моделі генерації відновлюваної енергії має низку переваг. По-перше, це знижує втрати енергії, пов'язані з транспортуванням електричної енергії. По-друге, забезпечує більшу стійкість до відмов та перебоїв в енергопостачанні, що особливо актуально під час воєнного стану і ризиків у забезпеченні надання медичних послуг. Відповідні державні документи прописують ці перспективи, в той же час їх впровадження потребує ініціативи та удосконалення менеджменту всіх медичних закладів [6,7].

У світовій практиці визначено шлях для систем охорони здоров'я, міністерств, багатосторонніх та двосторонніх кредиторів та донорів у сфері охорони здоров'я, разом з постачальниками та виробниками товарів та послуг, щоб почати вживати економічно ефективних, термінових заходів для переходу до нульових викидів, щоб захистити громадське здоров'я від кліматичних змін. Аналізуючи міжнародний досвід, можна визначити ряд кроків для медичних закладів та керівників системи охорони здоров'я.

1. Проведення еколого-енергетичного менеджменту медичного закладу. 2. Розроблення плану дій щодо декарбонізації з врахуванням наявних ресурсів і залученням всіх додаткових можливостей.

2. Визначення етапів впровадження поставлених задач та дотримання строків їх виконання.

3. Використання креативних механізмів фінансування та партнерства.

5. Вимірювання прогресу та відстежування окупності інвестицій на кожному етапі, використовуючи відповідні показники та індикатори.

У підсумку, слід зазначити, якщо розвиток, зростання та інвестиції в охорону здоров'я кожної держави будуть узгоджуватися з глобальними кліматичними цілями, 10% світової економіки, які представляє охорона здоров'я у світовому масштабі, зможуть допомогти забезпечити здорові кліматичні умови для життя нинішнього і майбутніх поколінь.

Список використаної літератури

1. Singh H., Vernon W., Scannell T., Gerwig K. Crossing the Decarbonization Chasm: A Call to Action for Hospital and Health System Leaders to Reduce Their Greenhouse Gas Emissions. *NAM Perspectives*. 2023. Nov 29;2023:10.31478/202311g. doi: [10.31478/202311g](https://doi.org/10.31478/202311g)
2. Karliner J., Slotterback S., Boyd R., Ashby B., Steele K. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. *Health Care Without Harm and ARUP*. 2019. 48 p. URL: https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf
3. Tennison I., Roschnik S., Ashby B., et al. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *The Lancet Planetary Health*. 2021. Vol. 5(2). P. e84-e92. DOI: [10.1016/S2542-5196\(20\)30271-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30271-0)
4. Sustainable Development Report 2025 <https://dashboards.sdgindex.org/>
5. Гнедіна К.В., Сорока А.В. Декарбонізація економіки як чинник забезпечення кліматично нейтрального майбутнього: сучасні виклики і перспективи в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 54. DOI: [10.32782/2524-0072/2023-54-76](https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76)
6. Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 березня 2021 р. № 1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80>
7. Верховна Рада України, Закон України Про альтернативні джерела енергії (2021), <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>

Науковий керівник – Т. В. Дудар, д.т.н., проф.

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Анотація. У роботі досліджено екологічний стан басейну річки Південний Буг у період 2025–2026 років. Розглянуто основні чинники, що спричиняють деградацію водної екосистеми, зокрема значну техногенну трансформацію, екстремальне біогенне забруднення у верхній течії, а також втрату здатності до самоочищення через надмірне зарегулювання русла. Визначено ризики для питного водозабезпечення стратегічних міст регіону та акцентовано увагу на необхідності масштабної реконструкції очисних споруд, відповідно до державного Плану управління річковим басейном на 2025–2030 роки.

Ключові слова: Південний Буг, екологічний стан, басейн річки, біогенне забруднення, техногенна трансформація, водний стрес, очисні споруди, гідроморфологічна зарегульованість, План управління річковим басейном (ПУРБ), водопостачання.

Екологічний стан басейну річки Південний Буг за результатами 2025–2026 років класифікується як критичний. Основною проблемою залишається повна техногенна трансформація поверхневих вод і значне «водне напруження», адже водозабезпеченість регіону не перевищує приблизно 880 кубічних метрів на рік на одну людину. Найгостріші прояви екологічної кризи спостерігаються у верхній течії річки, особливо в районі Хмельницької агломерації.

У літній період 2025 року масові скиди неочищених стоків через зношені міські очисні споруди та незаконні підключення до зливової каналізації призвели до перевищення гранично допустимих концентрацій амонію й нітритів у 42 рази. Це спричинило масову загибель риби та значне руйнування місцевих екосистем. Додаткові екологічні проблеми пов'язані з надмірною гідроморфологічною зарегульованістю русла річки, зокрема через наявність 188 малих водосховищ. Їхня діяльність фактично зупинила природний потік води, перетворивши річку на каскад стоячих водойм, що суттєво ускладнює природне самоочищення. Цей процес також посилює вторинне хімічне забруднення через активне гниття водоростей і замулення дна.

Погіршення якості води та її критичний дефіцит створюють реальні загрози для санітарно-епідеміологічної безпеки населення, ускладнюючи впровадження нової системи водопостачання для міста Миколаєва, яке має стратегічне значення. У таких умовах вирішення кризи вимагає комплексного підходу, передбаченого затвердженим Урядом Планом управління річковим басейном на період 2025–2030 років. Цей план визначає пріоритетним спрямування понад 70% інвестицій на капітальну реконструкцію очисних споруд для суттєвого зменшення впливу людської діяльності на водойму.

Науковий керівник – А. Є. Гай, к.ф.-м.н., доцент

ПРОБЛЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ ШКОДИ ДОВКІЛЛЮ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ

***Анотація.** Результатом дослідження є пропозиції щодо впровадження сучасних підходів до визначення компенсації за шкоду, завдану природним екосистемам внаслідок бойових дій, з метою відновлення деградованого довкілля.*

Ключові слова: компенсація шкоди довкіллю, екологічна відповідальність, відновлювальні заходи.

Повномасштабне вторгнення Росії в Україну зробило актуальним питання компенсації шкоди довкіллю, яка спричинена бойовими діями, і це завдання набагато ширше, ніж оцінка збитків. Розробка компенсаційних заходів для відшкодування збитків від забруднення навколишнього природного середовища є складовою екологічної безпеки територій. Одним із інструментів, спрямованих на її забезпечення, є екологічна відповідальність, що являє собою зобов'язання суб'єкта деструктивної для навколишнього природного середовища діяльності вжити заходи щодо запобігання настанню екологічної шкоди чи ліквідації наслідків екологічної шкоди для відновлення природних ресурсів до вихідного стану, що існував до її заподіяння, та компенсація ним витрат на проведені заходи.

Головна мета компенсаційного механізму відшкодування збитків від забруднення та знищення довкілля полягає у створенні умов для його відновлення. Тому перспективним можна вважати використання методів еквівалентних ресурсів на протипагу лише оцінюванню і стягненню збитків у грошовому виразі, що сприятиме переорієнтації системи екологічної відповідальності в Україні на відновлення навколишнього природного середовища. Розмір екологічного збитку повинен оцінюватися переважно на основі аналізу необхідності і вартості відновлення постраждалих екосистем або їх функцій, що обумовлено завданням відновлення довкілля.

Основою оцінки мають бути параметри та конфігурації відтворювальних процесів в екосистемах. Безпосередньо способи та методи усунення забруднення можуть визначати компетентні органи з високим ступенем прозорості та відповідальності. Важливо розробити нормативні процедури визначення обсягу відновлювальних робіт і належного контролю за їх реалізацією. Нормативний (на основі формул) метод визначення розміру збитку і грошової компенсації слід застосовувати тільки в тому випадку, якщо неможливо впровадити відновлювальні заходи.

У повоєнний час компенсаційний механізм повинен сприяти забезпеченню своєчасного проведення заходів щодо охорони і відтворення природних ресурсів, приведенню в належний стан довкілля, рекультивуацію у випадку його забруднення, порушення та деградації.

П.О. Переведенчук, здобувач
В.В. Федонюк, к. геогр. н., доц.
Луцький національний технічний університет, Луцьк

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОСЕКТОР У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ УКРАЇНИ

Анотація Дослідження присвячене аналізу агрометеорологічного потенціалу Волинської області та його змін в умовах регіональних проявів кліматичної динаміки. Агрокліматичні чинники є важливим показником ведення землеробства та аграрного виробництва у регіоні. Зміни клімату, зокрема, підвищення річних температур повітря, зміни режиму опадів, та зволоження, мають величезний вплив на сільське господарство, оскільки саме від агрометеорологічних умов залежить продуктивність відповідного напрямку. Аналіз проведено на основі використання метеоданих періоду 2020 – 2024 рр. станцій Луцьк та Любешів. Оцінка агрометеорологічних чинників на об'єктивному рівні надасть можливість підібрати певний набір сільськогосподарських культур і сортів рослин, добре пристосованих до теперішніх та майбутніх змін клімату.

Ключові слова: агросектор, зміни клімату, агрокліматичний чинник, Волинська область.

Для Волинської області динаміка змін агрокліматичних чинників і пов'язаних метеорологічних явищ вивчалася протягом останнього часу у дослідженнях Федонюк В.В., Линюка Р.В., Іванціва В.В., Федонюка М.А., Мерленка І.М., Ковальчук Н.С., Гусар О.Н., Жадько О.А. [1, 2, 3, 4, 5, 6] та інших авторів, проте аналіз переважно стосувався більш ранніх часових періодів. Дана робота вперше охоплює аналіз стану проблеми впливу змін клімату на один із секторів господарської діяльності людини в регіоні у останньому десятиріччі (після 2020 р.), що визначає її новизну.

Метою роботи є дослідження та екологічна оцінка зміни агрокліматичних умов Волинської області протягом 2020 – 2024 рр. (5-річного періоду) в умовах чітких регіональних проявів глобальних кліматичних змін.

В процесі проведеного дослідження отримано результати, які підтверджують наукову гіпотезу щодо того, що зміна клімату під впливом глобального потепління є в наш час незаперечним фактом [2, 4, 5]. Аналіз основних показників теплового забезпечення і вологозабезпечення у Волинській області (на прикладі даних ст. Луцьк та ст. Любешів за 2020-2024 рр.) показав чітку тенденцію до зростання температур: середня річна температура повітря перевищила норму на 1,6°C – 1,8°C; існує тенденція до зменшення кількості морозних днів (на 25 – 40 %); теплий період року подовжився майже на місяць, відповідно, відбулося скорочення холодного періоду; середньорічна сума опадів і їх сума за вегетаційний період відрізняється в залежності від метеорологічної станції. Станція Любешів та Луцьк характеризуються зростанням річної суми опадів на 5 – 10 %, проте випаровуваність зростає випереджаючими темпами (її зростання складає до 15 – 25 %), через підвищення температур. Тому умови зволоження території суттєво

змінюються. Опади впродовж року випадають нерівномірно - це засвідчує посилення стихійності метеорологічних явищ (днів з дощами поменшало, а їх інтенсивність – навпаки, зросла). Кількість твердих опадів (сніг) суттєво зменшилася за даними досліджених метеорологічних станцій.

Відповідні тенденції у змінах тепло- і вологозабезпечення в умовах глобального потепління потрібно брати до уваги при розробці новітніх технологій та заходів з адаптації сільськогосподарського комплексу Волинської області до кліматичних змін. Така адаптація може відбуватися, зокрема, шляхом часткової зміни його спеціалізації, зміщення термінів посіву та висадки культур і відповідно, їх обробітку. Переваги потепління для Волинської області можуть базуватися на наступних особливостях: на території області можна буде впроваджувати нові культури для вирощування, серед яких теплолюбні сорти сільськогосподарських культур, також очікується підвищення ефективності внесення добрив, а продуктивність фотосинтезу зросте завдяки збільшенню вмісту вуглекислого газу в атмосфері та подовження теплого вегетаційного періоду (див. табл. 1).

Таблиця 1. Розраховане середнє місячне та річне значення температури на ст. Любешів та Луцьк за період 2020-2024 рр.

Рік	Середнє значення t (місяць)												Середнє	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Ст. Любешів														
2020	-6,1	-3,4	2,8	9,2	15,5	18,9	22,4				5,4	6,9	-4,9	8,3
2021	-2,6	-5	1,8	9,9	14,6	19	20	18,6	14,6	7,2	2,6	2,6	2,0	8,6
2022	-3,1	-8,8	3,7	9,5	16,1	17,4	21,7	18,8	14,5	8,1	5,3	5,3	-4,6	8,2
2023	-4,4	-0,2	-2,3	8,7	14,6	19,2	19,1	18,9	11,9	9,7	5,8	5,3	1,1	8,7
2024	-4,4	0,8	6,3	10	14,6	17,3	21,1	19,8	13,7	7,8	3	3	-0,5	9,5
Ст. Луцьк														
2020	0,7	0,2	4,9	8,2	12,6	19,5	18,9		21,8		8,2	3,1	2,2	8,6
2021	-3	2,4	3,1	9,2	14,4	18,9	19,3		16,3	13,7	6,2	1,8	-0,4	8,5
2022	-4,5	-2	6,1	7,7	14	18,6	18,7	20,2	14,1	8,6	3,5	1,8	2	8,9
2023	-1,3	4,1	-0,9	13,3	17,5	18,6	19,9	20,5	15,6	9,8	2,2	2,2	-0,2	9,2
2024	-3,9	+2,0	+4,9	+9,8	+14,7	+21,9	+18,4	+19,4	+14,1	+10,5	+5,9	2,2	+2,6	+10,0

Негативний характер потепління проявлятиметься у виявлених змін окремих агрокліматичних чинників для сільськогосподарського комплексу: разом з новими рослинами отримують нові ареали свого поширення хвороби, бур'яни і комахи, постане проблема активізації мінералізації гумусу в ґрунтах. Через це рілництво потребуватиме більшого внесення мінеральних добрив, застосування засобів захисту рослин тощо, а це, в свою чергу, буде мати певний негативний вплив на екологічну та економічну складову агропромислового комплексу області.

Список використаної літератури

1. Мерленко І.М., Федонюк В.В., Мерленко Н.О. Адаптація до сучасних кліматичних змін агрономічних технологій в Північно-Західному Поліссі. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення*: Збірник наукових праць IV Міжнар. науково-практичної конференції. Херсон, 10-11 червня 2021 року. Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2021. С.228 – 230.
2. Федонюк В.В., Гусар О.Н., Федонюк М.А. Динаміка хмарності в межах Волинської області в період 2010-2021 рр. *Український журнал природничих наук*. Житомир: № 4, 2023. С. 86 – 95. UPL: <https://journals.univ.zhitomir.ua/index.php/ujns/article/view/40>
3. Федонюк В.В., Жадко О.А., Іванців В.В., Федонюк М.А. Порівняльний аналіз комфортності погоди протягом курортного сезону в національних природних парках Волині. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2023. № 4 (49). С. 232 – 237. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/4/31.pdf>
4. Федонюк В.В. Мерленко І.М., Федонюк М.А., Линюк Р.В., Ковальчук Н.С. Зміни агрокліматичних чинників в зоні Полісся в контексті глобального потепління (на прикладі Волинської області). *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. Рівне: 2019. № 2 (86). С.124 – 134. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs2201912>
5. Fedoniuk M.A., Fedoniuk V.V., Ivantsiv V.V. Possibilities for improvement of environmental monitoring of precipitation in the city (a case of Lutsk). *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. Харків: 2019. Вип. 50. С. 210-219. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-16>
6. Fedoniuk V.V., Husar O. N., Fedoniuk M.A. Study of the cloudiness dynamics in Lutsk in the context of climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Source: Conference Proceedings, 16th International Scientific Conference, 15-18 Nov 2022, Volume 2022. P. 1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580125>

Науковий керівник – В.В. Федонюк, геогр. н., доц.

СОРБЦІЯ ІОНІВ АМОНІЮ ПРИРОДНИМ ЦЕОЛІТОМ СОКИРНИЦЬКОГО РОДОВИЩА РІЗНИХ ФРАКЦІЙ

Анотація. Досліджено сорбційні властивості природного цеоліту Сокирницького родовища для вилучення іонів амонію з ґрунтів і води з метою підвищення екологічної безпеки сільського господарства.

Ключові слова: цеоліт; сорбція; іони амонію; очищення ґрунтів; екологічна безпека; сільське господарство; фракційний склад; іонообмін; природні сорбенти

Метою роботи було дослідження ефективності сорбції іонів амонію природним цеолітом Сокирницького родовища різних фракцій (5–10 мм, 3–5 мм, 1–3 мм, 0,5–1 мм, 0–1 мм). Перед проведенням експерименту зі зразків було видалено надлишкову вологу.

Сорбційний експеримент проводили у водному розчині при співвідношенні 1:100. Тривалість контакту становила 10 годин при рН = 7, Концентрацію іонів амонію визначали фотометричним методом із використанням реактиву Несслера. Результати що фракції 0,5–1 мм та 0–1 мм мали найкращу сорбційну здатність йонів NH_4^+ .

Висновок. Встановлено, що ефективність сорбції іонів амонію природним цеолітом залежить від розміру частинок сорбенту. Найбільш оптимальною для очищення водних розчинів є фракція 0,5-1мм.

Список використаної літератури:

1. Біла Т.А., Ляшенко Є.В., Охріменко О.В. Фотокolorиметричний метод визначення сполук амонію у природних водах // *Методи і методики*. 2020.
2. Мільович С.С., Стерчо І.П. Кінетика сорбції іонів Cu(II), Cd(II), Pb(II) на сокирницькому кліноптилоліті: модель Еловича. Ужгород: Ужгородський національний університет, 2023.

Науковий керівник - О.С. Глух, к.х.н. доцент

ВАЛОРИЗАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛИЧИНОК МУХИ ЧОРНА ЛЬВИНКА (*HERMETIA ILLUCENS*) В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Анотація. У роботі розглянуто валоризацію органічних відходів за допомогою личинок мухи чорна львинка (*Hermetia illucens*) як перспективний напрям екологічної біотехнології. Показано, що біоконверсія дає змогу зменшувати обсяги органічних відходів і отримувати цінні продукти – білково-ліпідну біомасу та фрас. Узагальнено переваги технології та її значення для циркулярної економіки і сталого розвитку.

Ключові слова: екологічна біотехнологія, муха чорна львинка, біоконверсія органічних відходів, сталий розвиток.

Глобальна проблема управління органічними відходами є одним із ключових викликів сталого розвитку. Неналежне поводження з цією фракцією відходів супроводжується викидами парникових газів і негативними екологічними наслідками. Щорічні обсяги утворення твердих муніципальних відходів сягають мільярдів тонн, причому органічна складова часто становить від 40% до 60% загальної маси [1], що свідчить про її колосальний невикористаний потенціал. Традиційні методи переробки, зокрема компостування та анаеробне зброджування, залишаються важливими, однак потребують часу, контролю умов процесу та належного сортування субстратів. У цьому контексті зростає нагальна потреба в розробці та впровадженні інноваційних, економічно ефективних та екологічно стійких рішень, серед яких біоконверсія за допомогою комах виділяється як особливо перспективний напрямок [2, 3].

Личинки мухи чорна львинка (*Hermetia illucens*) є унікальними біологічними інструментами для валоризації органічних відходів. Їхня виняткова здатність до швидкого росту та ефективного споживання різноманітних органічних субстратів робить їх ідеальними біоконверторами. Ці комахи здатні утилізувати широкий спектр органічних відходів, починаючи від побутових відходів, які часто становлять значну проблему для муніципальних систем, до відходів сільськогосподарського виробництва, таких як рослинні залишки та тваринні екскременти. Крім того, вони ефективно переробляють відходи харчової промисловості, що відкриває широкі можливості для зменшення промислових відходів [2, 3]. Для оптимального функціонування личинок ідеальний субстрат повинен мати високу вологість, зазвичай у діапазоні 70 – 80%, та збалансоване співвідношення вуглецю до азоту, що сприяє ефективному розкладанню органічної речовини [3].

Процес деградації органічних відходів личинками *H. Illucens* є комплексним і включає як механічне подрібнення, так і потужну ферментативну дію. Личинки

оснащені міцними щелепами, що дозволяють їм подрібнювати великі фрагменти органіки, збільшуючи площу поверхні для подальшої ферментативної атаки. Одночасно, їхній травний тракт виробляє широкий спектр гідролітичних ферментів, включаючи хітиназу, амілазу, ліпазу та протеазу. Ферменти каталізують розщеплення складних полімерів, таких як вуглеводи, білки та жири, на простіші сполуки, які можуть бути засвоєні личинками. Важливу роль у цьому процесі відіграє також мікрофлора кишечника личинок, що складається з різноманітних видів бактерій, які синергічно працюють з ферментами господаря, посилюючи розкладання органічних речовин та сприяючи нейтралізації потенційних патогенів, що можуть міститися у відходах [2].

Основним продуктом деградації органічних відходів за допомогою мухи чорна львинка є біомаса предлялечок. Вона характеризується високим вмістом протеїну та ліпідів, хоча конкретний склад залежить від типу субстрату [3, 4]. Завдяки такому багатому поживному складу предлялечки можуть слугувати ефективним та стійким джерелом білка у кормах для тварин, включаючи рибу, птицю та свиней [2, 3]. Це дозволяє замінити традиційні, часто дорогі та екологічно навантажені компоненти кормів, такі як рибне борошно або соєвий шрот. Крім того, біомаса личинок містить цінні біоактивні сполуки, зокрема хітин та антимікробні пептиди, які мають додаткову цінність для фармацевтичної та інших галузей промисловості [5]. Залишковий матеріал після годування личинок – фрас, складається з їхніх екскрементів та неперетравлених частинок органіки. Фрас є високоефективним органічним добривом, яке містить азот, фосфор та активну мікробіоту, що робить його цінним для сільського господарства, сприяючи закриттю циклу поживних речовин та підвищенню родючості ґрунту [6].

На продуктивність біоконверсії суттєво впливають кілька ключових факторів: тип та якість органічного субстрату, щільність посадки личинок, а також параметри навколишнього середовища, такі як температура та вологість. Оптимізація цих параметрів дозволяє максимізувати швидкість зниження маси відходів та ефективність виробництва біомаси личинок. Дослідження показують, що личинки також здатні до певної міри зменшувати концентрацію важких металів у субстраті, а також ефективно знищувати небезпечні патогени, що підвищує безпеку кінцевих продуктів і знижує ризики для здоров'я [2, 3].

Екологічні та економічні переваги використання личинок мухи чорна львинка є значними та багатогранними. Така технологія дозволяє суттєво зменшити обсяг органічних відходів, що надходять на полігони, тим самим знижуючи викиди парникових газів та мінімізуючи екологічний слід. Технологія відповідає принципам циркулярної економіки, перетворюючи відходи з проблеми на цінний ресурс. З економічної точки зору, використання *H. Illucens* дозволяє знизити витрати на управління відходами для муніципалітетів та підприємств, а також створити нові джерела доходу від продажу біомаси личинок (для кормової промисловості) та органічного добрива (для сільського господарства), відкриваючи нові бізнес-моделі, зокрема для малих підприємств [2, 3, 5].

Незважаючи на значний потенціал, впровадження та масштабування технології біоконверсії за допомогою мухи чорна львинка стикається з певними викликами. До них належать необхідність подальшої оптимізації великомасштабних

виробничих систем, розробку та стандартизацію технологічних процесів, подолання регуляторних бар'єрів, а також підвищення споживчої прийнятності продуктів з комах [3]. Майбутні дослідження мають зосередитися на генетичному покращенні штамів личинок для підвищення їхньої продуктивності та стійкості, розробці автоматизованих систем для ефективного управління процесами, а також на проведенні повного аналізу життєвого циклу продукції для всебічної оцінки її екологічного сліду. У підсумку, технологія переробки органічних відходів за допомогою *H. Illucens* є одним з найбільш перспективних, стійких, економічно життєздатних та екологічно обґрунтованих рішень у галузі управління відходами, що є ключовим елементом для переходу до циркулярної економіки та сталого майбутнього.

Список використаної літератури

1. Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
2. Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Yuwono, N. W., Nisa', K., Smetana, S., Saki, M., Nawaz, A., & Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing. *Waste Management*, 140, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044>
3. Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L.-H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, 117, 58–80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>
4. Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Owyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
5. Xia, J., Ge, C., & Yao, H. (2021). Antimicrobial peptides from black soldier fly (*Hermetia illucens*) as potential antimicrobial factors representing an alternative to antibiotics in livestock farming. *Animals*, 11(7), Article 1937. <https://doi.org/10.3390/ani11071937>
6. Lopes, I. G., Yong, J. W. H., & Lalander, C. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes: A critical review and future perspectives. *Waste Management*, 142, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>

ASSESSMENT OF LEAF AREA INDEX (LAI) SEASONAL DYNAMICS IN YOUNG PLANTATIONS OF *SORBUS INTERMEDIA* (EHRH.) PERS., 1806 FOR AN URBAN ECOSYSTEM

Abstract. A complete seasonal time series of effective leaf area index (LAI 4 Ring) was obtained for 25 young individuals of *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., 1806 in an urban botanical garden using digital hemispherical photography (DHP) throughout the 2025 growing season (May–October). The mean seasonal effective LAI was 1.51 ± 0.31 (range 0.66–3.85). Repeated Measures ANOVA confirmed highly significant seasonal changes ($F = 31.90$; $p < 10^{-16}$). The dataset provides validated ground truth data for urban ecosystem modelling and remote sensing calibration.

Keywords: leaf area index (LAI); digital hemispherical photography (DHP); *Sorbus intermedia*; urban ecosystem; phenology; seasonal dynamics; Gap Light Analyzer.

The leaf area index (LAI) is a fundamental biophysical parameter defined as the total one-sided leaf area per unit ground surface area ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) [1]. LAI plays a critical role in characterizing vegetation canopies[2], modelling carbon-cycle processes and ecosystem water exchange. The concept was introduced by Watson [3] and refined for non-flat leaves by Chen & Black [4]. LAI values are essential for understanding developmental patterns of urban plantations, particularly introduced species such as *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., 1806, which exhibits tolerance to urban stressors. The objective of this study was to acquire a high-quality ground-based time series of effective LAI for 25 trees throughout the 2025 growing season and to statistically validate its quality and consistency [5].

The study was conducted in the Botanical Garden of Oles Honchar Dnipro National University (Dnipro, Ukraine). Observations spanned the entire 2025 growing season (May–October) on 25 individuals of *S. intermedia* of identical age (12 years) with similar morphological characteristics.

Effective LAI was measured using Digital Hemispherical Photography (DHP) with a 180° fisheye lens on a smartphone (iPhone 12). Fourteen measurement campaigns were conducted from May 30 to October 3, 2025, with photographs taken vertically upward from ground level beneath each tree canopy. Photographs were processed using Gap Light Analyzer (GLA) v. 2.0 [6]. The effective LAI 4 Ring value (zenith angles 0–60°) was used. Statistical analysis included Repeated Measures ANOVA, pairwise Pearson correlation, and coefficient of variation (CV) calculations performed in Python 3.11 (pandas, statsmodels).

Seasonal dynamics: The seasonal mean effective LAI 4 Ring across 25 trees was 1.51 ± 0.31 (min. 0.66 – max. 3.85). Maximum canopy development was recorded at the season start (May 30: 2.27 ± 0.69), a plateau was maintained through June–July

(LAI \approx 1.4–1.7), followed by a decline through August–October reaching a minimum on September 26 (1.07 ± 0.29) (Fig. 1).

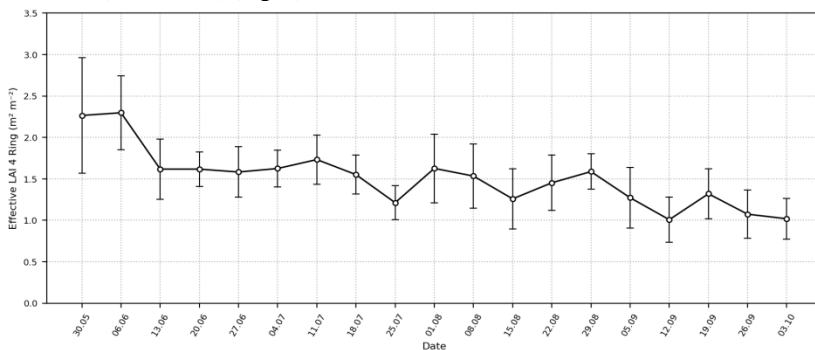


Fig. 1. Seasonal dynamics of effective LAI 4 Ring (mean \pm SD) for 25 trees of *S. intermedia*, 2025.

Variability: Spatial variability was highest at season start (CV = 28.7%, May 30) due to leaf unfolding asynchrony and lowest during peak development (CV = 13.8%, July 4). Mean pairwise Pearson correlation $r = 0.55$ (range -0.83 – 0.98) indicates moderate phenological synchrony. Individual trees showed pronounced differences: highest seasonal means: S3 – 2.02, S25 – 1.94, S13 – 1.93; lowest: S22 – 0.97, S16 – 1.10, S24 – 1.23 (Table 1).

Table 1

Main statistical indicators of selected trees (effective LAI 4 Ring)

Tree	Mean LAI 4R	SD	CV, %	Min	Max	Range
S3	2.02	0.61	30.0	1.40	3.85	2.45
S13	1.93	0.57	29.5	1.06	3.10	2.04
S25	1.94	0.15	7.5	1.62	2.20	0.58
S16	1.10	0.30	27.6	0.73	1.58	0.85
S22	0.97	0.24	24.9	0.66	1.56	0.90
S24	1.23	0.33	26.5	0.72	1.73	1.01

Repeated Measures ANOVA confirmed highly significant seasonal changes ($F = 31.90$; $p < 10^{-16}$). No anomalies were detected after interpolation; inter-tree variability is biologically justified (CV 13.8–28.7%).

A complete, statistically validated time series of effective LAI was obtained for young *S. intermedia* plantations under urban conditions. Values (1.51 ± 0.31) fall within the lower range typical for temperate urban broadleaf plantations, explained by tree age (12

years) and urban stressors. The atypical seasonal trajectory (early May–June peak, gradual June–July plateau, August–October decline) distinguishes urban *S. intermedia* from mature natural stands. Moderate phenological synchrony ($r = 0.55$) indicates meteorological control of phenology combined with individual tree and microsite influences. The dataset (25 trees \times 19 dates) serves as ground truth for remote sensing validation and urban ecosystem modelling, contributing to evidence-based green infrastructure planning.

References

1. Fang H. et al. (2019). An overview of global leaf area index (LAI): Methods, products, validation, and applications. *Reviews of Geophysics*, 57(3), 739–799.
2. Waring R.H., Running S.W. (2010). *Forest ecosystems: Analysis at multiple scales* (3rd ed.). Elsevier.
3. Watson D.J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops. *Annals of Botany*, 11(41), 41–76.
4. Chen J.M., Black T.A. (1992). Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment*, 15(4), 421–429.
5. Sabanskyy A.M., Ivanko I.A., Holoborodko K.K. (2025). Assessment of leaf area index (LAI) seasonal dynamics in young plantations of *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., 1805 for an urban ecosystem based on digital hemispherical photography. *Ecology and Noospherology*, 36(2), 97–104. doi:10.15421/032512
6. Frazer G.W. et al. (1999). *Gap Light Analyzer v. 2.0*. Simon Fraser University.

Scientific supervisor – K.K. Holoborodko, Dr. Biol. Sci., Prof.

О.О. Семінська, к.х.н.,

М.М. Балакіна, д.х.н.;

Л.О. Мельник, д.х.н.;

О.В. Хмельницька, провідний інженер

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОАГУЛЯНТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕГРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КОАГУЛЯЦІЯ-УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЯ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ Р. ДНІПРО

***Анотація.** В роботі розглядається доцільність використання інтеграційного процесу коагуляція-ультрафільтрація для очищення річкової води до вимог для води питного призначення та вплив мікродоз коагулянту на ефективність процесу.*

Ключові слова: ультрафільтрація, коагуляція, сульфат алюмінію, поверхневі води, концентрація, природні органічні сполуки.

Одним з найбільш використовуваних традиційних методів водоочищення, який і досі широко застосовується в світі, є коагуляція. Водночас, в останні десятиліття широкого розповсюдження набули баромембранні методи очищення води. Обидва типи методів вважаються доволі ефективними для видалення дисперсних речовин та інших видів забруднень при відносно сталому складі води. При цьому вода, яка подається на очищення, в тому числі і річкова, має різний дисперсний склад, а кожен з методів має обмеження застосуванні, що часто не дозволяє отримати очищену воду, якість якої відповідає необхідним вимогам [1, 2].

Для підвищення ефективності видалення забруднюючих речовин в сучасній практиці водоочищення все частіше застосовуються гібридні мембранні процеси, тобто інтеграцію мембранного процесу з іншими методами водоочищення. Одним з прикладів таких процесів є інтеграційний процес коагуляція-ультрафільтрація, що дозволяє підвищити якість очищеної води при зменшенні експлуатаційних та капітальних витрат [3-5]. Додатковою перевагою застосування обраного поєднання процесів є контроль забруднення мембран – одного з основних обмежуючих факторів мембранної фільтрації – в процесі водоочищення, що забезпечує сталість робочих характеристик мембранних модулів [4].

На ефективність процесу водоочищення з використанням вказаного інтегрованого методу впливають: тип коагулянту, параметри проведення процесу (доза коагулянту, рН середовища, температура), умови змішування, конфігурація потоку, властивості мембрани та склад води, що подається на очищення [2, 3, 5], тому важливим і необхідним є забезпечення оптимальних умов проведення процесу.

Дослідження проводили на лабораторній баромембранній установці фронтального типу з магнітною мішалкою при робочому тиску 0,4 МПа та рН = 6. В роботі використовували полісульфонові ультрафільтраційні мембрани з відсіканням за молекулярною масою 20000 Да. В якості коагулянту використовували сульфат алюмінію $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ (концентрація 0,5 – 4 мг Al/дм³). Перед початком роботи зразки мембран опресовували фільтруванням

дистильованою водою до досягнення постійних значень питомої продуктивності. Ефективність очищення визначали за показниками кольоровості, UV_{364} , що відповідає УФ-поглинанню при довжині хвилі 364 нм і концентрацією алюмінію у вихідній воді та пермеаті. Проби води було відібрано з водозабірною ковша Дніпровської водопровідної станції м. Києва в серпні 2025 р.

Дослідження питомої продуктивності в обраному діапазоні концентрацій показало, що вона зменшується зі збільшенням коефіцієнту відбору пермеату (k) для кожного випадку в обраному діапазоні концентрацій. При цьому інтенсивність зменшення зазначеного показника при $k \geq 10\%$ відбувається помірно та приблизно однаково, на відміну від характеру зміни показників питомої продуктивності на початковій стадії процесу. Так, при $k \leq 10\%$ величина питомої продуктивності мембрани зменшилась на 10,24; 13,92; 6,02; 3,64; 3,69; 13,27 та 14,9% відповідно при використанні дози коагулянту 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 та 4,0 мг Al/dm^3 , що опосередковано свідчить про механізм забруднення мембрани.

Графічна обробка отриманих експериментальних даних із залученням положень, розроблених на основі аналізу рівнянь Дарсі та Хазена-Пуазеля для фільтрування при постійному тиску дає можливість встановити механізм забруднення мембрани та робити висновки про економічність процесу фільтрування [6]. Згідно з рівняннями, інтенсивність зростання загального опору при збільшенні кількості відібраного фільтрату зменшується з переходом від фільтрування з поступовим закупорюванням кожної пори багатьма частинками (механізм 1) до фільтрування проміжного типу (механізм 2) і потім до фільтрування з утворенням осаду на поверхні мембрани (механізм 3). Тобто, найбільш небажаним є фільтрування з закупорюванням пор, а найкращим – із відкладанням осаду на поверхні мембрани.

Графічна обробка отриманих даних показала, що забруднення мембран відбувається за всіма трьома механізмами в діапазоні обраних доз коагулянту. При цьому при використанні дози коагулянту 2 та 2,5 мг Al/dm^3 значення констант фільтрування є найменшим (0,2854 та 0,3049 відповідно), що свідчить про найнижчу інтенсивність процесу забруднення пор мембрани при очищенні води, тобто найсприятливіші умови експлуатації мембран. Водночас, тривалість механізму 1 є найкоротшою для доз коагулянту 1,0 та 2,0 мг Al/dm^3 і складає відповідно 0,14 та 0,17 год.

Результати очищення води за показником кольоровості показують, що вимоги за кольоровістю в очищеній воді задовольняються при використанні дози коагулянту ≥ 2 мг Al/dm^3 при $k \leq 90\%$, а також при концентрації 1,5 мг Al/dm^3 при $k \leq 80\%$. Отримані дані свідчать про те, що дози менші за наведені є недостатніми для забезпечення необхідного ефекту очищення.

Отримані дані при дослідженні показника UV_{364} корелюють з даними показника кольоровості і показують, що найменша ефективність очищення від природних органічних сполук (ПОС) спостерігається в діапазоні концентрацій 0,5 – 1,5 мг Al/dm^3 (16,9 – 72,5% при $k \leq 90\%$). Підвищення концентрації в межах 2 – 3 мг Al/dm^3 супроводжувалось підвищенням ефективності вилучення ПОС (74,5 – 87,2% при $k \leq 90\%$), але подальше підвищення дози коагулянту до 4 мг Al/dm^3 привело до зменшення ефективності процесу (74,4 – 81,7% при $k \leq 90\%$).

Дослідження залишкового вмісту алюмінію в пермеатах показало, що норми за вмістом алюмінію в них забезпечуються при дозі коагулянту 0,5; 1,0 та 1,5 мг Al/дм³ при $k \geq 30$; 70 та 80 % відповідно. Отримані дані пояснюються меншою швидкістю пластівцеутворення через утворення недостатньої кількості заряджених частинок (гідроксиду алюмінію) для нейтралізації колоїдів, що призводить до утворення дрібних, нестійких пластівців [1]. Необхідні вимоги протягом всього процесу, тобто при $k \leq 90$ %, забезпечуються лише при дозі коагулянту 2 мг Al/дм³, що свідчить про створення умов, які забезпечують утворення необхідної кількості гідроксиду для утворення щільних та важких пластівців, що здатні швидко осідати. При подальшому підвищенні концентрації коагулянту $\geq 2,5$ мг Al/дм³ при будь-якому коефіцієнті відбору пермеату його якість за залишковим вмістом алюмінію не відповідає регламентованим нормам. Це пояснюється передозуванням коагулянту, через що надлишок іонів алюмінію перезаряджає негативно заряджені частинки забруднень, створюючи стабільно позитивно заряджені колоїди, приводячи до їх стабілізації (відштовхування). Тобто, злипання колоїдних часток з подальшим осадоутворенням не відбувається [1].

Отже, оптимальною дозою коагулянту для подальших досліджень є 2 мг Al/дм³, оскільки саме за цих умов досягаються найменші забруднення пор мембрани, тобто кращі умови експлуатації, кольоровість пермеату і залишковий вміст алюмінію в ньому, які відповідають регламентованим нормам.

Список використаної літератури

1. Запольський А.К. Очистка воды коагулированием. Каменец-Подольский: ЧП «Медоборы-2006», 2001. 296 с.
2. Bratby J. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. Third Edition. London: IWA Publishing, 2016. 524 p.
3. Konieczny K., Rajca M., Bodzek M., Kwiecinska A. Water treatment using hybrid method of coagulation and low-pressure membrane filtration. *Environment protection engineering*. 2009. 35, N1. P. 5-22.
4. Arhin S.G., Banadda N., Komachech A.J., Pronk W., Marks S.J. Application of hybrid coagulation-ultrafiltration for decentralized drinking water treatment: impact on flun, water quality and costs. *Water Supply*. 2019. 19. 7. P. 2163-2171.
5. Wahid Z.A., Ismail A.F., Salim M.R., Munaim S.A., Matsuura T. Application of coagulation-ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment^ Optimization of operatinf conditions using experimental design. *Separation and Purification Technology*. 2009. 65(20). P. 193-210.
6. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафилтрация. Киев: Наук. Думка, 1989. 288 с.

S. Sytnyk, Dr. Agr. Sci.

V. Lovynska, Dr. Agr. Sci.

I. Nikovska, student

N. Voroshylova, PhD.

Dnipro State Agrarian and Economic University

IMPACT OF *CAMERARIA OHRIDELLA* INFESTATION ON CHEMICAL COMPOSITION OF *AESCULUS GLABRA* WILLD LEAVES IN DNIPRO CITY, UKRAINE

Summary. *This study examines how infestation by the horse chestnut leaf miner affects the metabolic profile of Aesculus glabra leaves in urban conditions in Dnipro, Ukraine. Using GC-MS analysis, researchers found a significant reduction in chemical diversity, with identified compounds decreasing from 114 to 62 in infested leaves. The results indicate a major metabolic reorganization under biotic stress, including reduced carbohydrate-related compounds and the emergence of metabolites linked to plant defense. These findings highlight adaptive biochemical responses and offer insights for developing sustainable strategies to manage leaf miner infestations in urban environments.*

Keywords: horse chestnut leaf miner, metabolic profile of leafmethanolic extract, induced chemical defense in woodyplants.

This study investigates alterations in the metabolic profile of *Aesculus glabra* leaves in response to infestation by the horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) under urban conditions in Dnipro, Ukraine. Chemical analysis of the leaves was conducted using gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). A marked decrease in the diversity of chemical constituents was observed in the methanolic extract of infested leaves, with the number of identified compounds declining from 114 to 62. This substantial reduction indicates a pronounced reorganization of plant metabolism under biotic stress.

Particularly notable was the decline in the abundance of carbohydrate-related compounds, likely reflecting energy mobilization and the activation of chemical defense responses. Concurrently, infested leaves exhibited the presence of specific metabolites, including quercetin, monopalmitin, neophytadiene, stigmaterol, and arabinofuranose, which are presumed to play a role in induced resistance against *C. ohridella*. The maintenance of stable levels of certain fatty acids suggests their constitutive role in primary metabolism. Additionally, the observed decrease in squalene content may be attributed to its conversion into defensive secondary metabolites. These findings have practical implications for the development of biologically based strategies to manage *C. ohridella* infestations in urban green infrastructure.

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОДОЛАННЯ ЕФЕКТУ МІСЬКОГО ТЕПЛООВОГО ОСТРОВА

Сучасні міста стикаються з безпрецедентними екологічними викликами, серед яких однією з найгостріших проблем є «ефект міського теплового острова» (ЕМО). Заміна природних ландшафтів на асфальт і бетон, а також щільна забудова призводять до акумуляції сонячної енергії, що суттєво підвищує температуру в мегаполісах порівняно з передмістями. Це не лише створює дискомфорт, але й становить пряму загрозу здоров'ю мешканців (особливо в періоди аномальної спеки) та збільшує енерговитрати на кондиціонування.

У контексті зеленої урбаністики найбільш ефективним та просторово ошадливим рішенням цієї проблеми є інтеграція природи безпосередньо в архітектуру будівель за допомогою зелених дахів та систем вертикального озеленення.

В умовах дефіциту вільного простору в містах традиційне створення парків часто є неможливим. Тому зелені дахи та вертикальні сади (фітостіни) стають критично важливим елементом міської інфраструктури, діючи як природні терморегулятори.

Евапотранспірація: Рослини та ґрунтовий субстрат поглинають теплову енергію з навколишнього середовища для випаровування води. Цей процес активно охолоджує повітря навколо будівлі та підвищує його вологість, роблячи мікроклімат комфортнішим.

Затінення та теплоізоляція: Рослинний покрив поглинає до 80% сонячної радіації. Дослідження показують, що температура відкритого даху може сягати 60–70°C, тоді як озеленений дах нагрівається лише до 25–30°C.

Окрім цього, озеленення поліпшує якість повітря, затримує дощову воду та зменшує навантаження на каналізацію.

Висновок

Впровадження зелених дахів та вертикального озеленення є ефективною стратегією адаптації міст до кліматичних змін. Це дозволяє зменшити ефект теплового острова та покращити якість життя населення.

Список використаних джерел

1. Кучерявий В. П. Озеленення населених місць. – Львів: Світ, 2005.
2. Ткаченко Т. М. Зелені покриви будівель. – Київ: КНУБА, 2018.
3. Wong, N. H., et al. (2010). Energy and Buildings.
4. World Health Organization (2021). Heat and Health.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРЧИЦІ, СОНЯШНИКА ТА КУКУРУДЗИ У ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ (Pb, Cu)

Анотація. *Інтенсивне техногенне навантаження та наслідки воєнних дій призводять до накопичення у ґрунтах важких металів, зокрема свинцю і міді. Їхня токсичність негативно впливає на агроєкосистеми та становить загрозу харчовим ланцюгам. Перспективним напрямом очищення є фіторемедіація — природоорієнтований метод, що ґрунтується на здатності рослин поглинати, трансформувати, фіксувати або стабілізувати токсичні елементи.*

Ключові слова: фіторемедіація, важкі метали, свинець, мідь, гірчиця, соняшник, кукурудза.

Метою дослідження є оцінка ефективності гірчиці сарептської, соняшника та кукурудзи у процесах фітоекстракції та фітостабілізації свинцю і міді у забруднених ґрунтах. У процесі дослідження застосовано метод аналізу наукових джерел щодо механізмів акумуляції Pb^{2+} і Cu^{2+} рослинами, метод порівняння ефективності різних культур у процесах фіторемедіації, а також метод узагальнення для формулювання висновків щодо доцільності їх комбінованого використання.

Результати. Мідь належить до мікроелементів, життєво необхідних у невеликих концентраціях, проте у надлишку стає токсичною для більшості культур. У рослинах вона переважно зв'язується з амінокислотами, білками й цукрами, проте перевищення порогових рівнів призводить до руйнування пігментів і пригнічення фотосинтезу. Свинець, навпаки, характеризується низькою рухливістю в рослинних тканинах, здебільшого накопичується у кореневій зоні, обмежено транспортується у надземну частину та є надзвичайно токсичним у підвищених концентраціях. Його негативна дія проявляється у порушенні клітинного метаболізму, активації процесів перекисного окиснення ліпідів і розвитку хлорозів.

Brassica juncea вважається одним із найперспективніших видів для фітоекстракції важких металів, оскільки здатна до гіперакумуляції Pb^{2+} і Cu^{2+} . Ця культура характеризується швидким ростом, значною біомасою, розвиненою кореневою системою та ефективною системою хелатування іонів металів завдяки синтезу глутатіону і фітохелатинів. Дослідження засвідчили, що застосування хелатуючих агентів, зокрема ЕДТА, значно підвищує коефіцієнт транслокації і швидкість виносу металів у надземну масу, хоча водночас створює ризики вторинного забруднення [3]. Встановлено, що в умовах застосування ЕДТА вміст свинцю у верхньому шарі ґрунту може знижуватися на 10–15% лише за один вегетаційний сезон, а концентрація металу в сухій біомасі гірчиці сягає десятків грамів на кілограм. Завдяки цим властивостям *Brassica juncea* розглядається як ключовий вид для активної фітоекстракції.

Helianthus annuus проявляє високу ефективність у поглинанні та транслокації міді. Розгалужена коренева система й інтенсивна транспірація забезпечують активний масоперенос іонів у надземну біомасу. Соняшник здатний накопичувати Cu^{2+} у значних кількостях, підтримуючи при цьому відносно високий рівень продуктивності навіть за умов середнього забруднення. Його перевагою є також адаптивність до різних типів ґрунтів і агротехнічних умов. Водночас за надлишкових концентрацій міді у тканинах спостерігаються пігментні порушення та гальмування ростових процесів, що потребує оптимізації агротехнологій, зокрема інокуляції мікробними препаратами, застосування органічних добавок та контролю кислотності ґрунту.

Zea mays відрізняється чутливістю до токсичної дії Pb^{2+} і Cu^{2+} , що проявляється у зниженні вмісту хлорофілів, розвитку хлорозів і некрозів, пригніченні росту. Проте за умов помірного забруднення та оптимізації рН і мінерального живлення кукурудза зберігає високу біомасу й життєздатність. Її стратегія щодо важких металів має подвійний характер: свинець здебільшого акумулюється у кореневій зоні, що забезпечує ефективну фітостабілізацію та зниження мобільних форм у ґрунті, тоді як мідь транспортується у надземну масу у помірних кількостях [2]. Завдяки цьому *Zea mays* доцільно використовувати у комплексних схемах ремедіації – як стабілізатор Pb^{2+} та додатковий екстрактор Cu^{2+} .

Узагальнений аналіз свідчить, що найвищий потенціал для гіперакумуляції Pb^{2+} і Cu^{2+} має гірчиця сарептська завдяки своїм біохімічним особливостям. Соняшник найбільш ефективний у процесі винесення іонів міді завдяки потужній кореневій системі й інтенсивній транспірації. Кукурудза ж оптимально використовується для стабілізації свинцю у кореневій зоні та часткової акумуляції Cu^{2+} за умов середнього рівня забруднення. Таким чином, комбіноване застосування цих культур у сівозмінах або змішаних посівах дозволяє значно знижувати концентрацію мобільних форм важких металів у ґрунтах, забезпечуючи поступове відновлення їхньої природної родючості. *Brassica juncea* доцільно використовувати для інтенсивної фітоекстракції Pb^{2+} та Cu^{2+} , *Helianthus annuus* – для ефективного винесення іонів Cu^{2+} , а *Zea mays* – для стабілізації Pb^{2+} у кореневій зоні та часткової акумуляції Cu^{2+} . Комплексне впровадження цих підходів сприятиме зниженню екологічних ризиків, пов'язаних із забрудненням важкими металами, та забезпечить відновлення продуктивності сільськогосподарських угідь у середньостроковій перспективі.

Список використаних джерел

1. Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивуації у сучасних системах землеробства: монографія / Я.Г. Цицюра, Ю.М. Шкатула, Т.А. Забарна, Л.В. Пелех. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.
2. Ha N., Sweat K.G., Conrow K.D., Haney R.S., Cahill T.M., LeBauer D.S., Leung M.C.K. Remediating toxic elements with sunflower, hemp, castor bean, & bamboo: an open dataset of harmonized variables. *Scientific Data*. 2025. Vol. 12(1). 905.
3. Rathika R., et al. Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by *Brassica juncea*. *Chemosphere*. 2021. Vol. 271. 129513.

Науковий керівник – Петюх Г. П., к. б. н., професор

КІНЕТИКА ДЕГУМІФІКАЦІЇ ҐРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Анотація. У роботі досліджено кінетику розкладу гумусу під впливом високих температур (350–450 °С). За допомогою термографічного аналізу встановлено температуру початку горіння органічної речовини ≈ 210 °С. Доведено, що термічний вплив протягом 5 хвилин знижує вміст гумусу на 30%. На основі рівняння Арреніуса розраховано енергію активації дегуміфікації ($E_a \approx 63$ кДж/моль), що підтверджує високу вразливість ґрунту до випалювання сухої рослинності.

Ключові слова: ґрунт, гумус, дегуміфікація, кінетика, енергія активації, термографія, спалювання сухоюстю.

Виробнича діяльність людини є надзвичайно могутнім фактором формування властивостей ґрунту, оскільки людина свідомо впливає на напрямок ґрунтоутворення. Розглядаючи родючість ґрунтів як основне національне надбання, слід відзначити, що за останні роки намітилися стійкі тенденції до її зниження. Щорічно ґрунти України втрачають 350–500 кг гумусу з 1 га. Гумус є головним джерелом поживних елементів, містячи 98% загального азоту і понад 50% фосфору. Він відіграє суттєву роль у біологічному кругообігу, поліпшує фізико-хімічні властивості ґрунтів та є найбільшим джерелом акумульованої сонячної енергії. Акумульована у гумусі енергія може бути вивільнена як природним шляхом через вирощування сільськогосподарських культур, так і внаслідок антропогенного впливу, зокрема спалювання сухої трави і листя. В останньому випадку ґрунт піддається впливу неприродно високих температур, що є проявом безгосподарності та низької екологічної культури.

Метою даної роботи було вивчення кінетики дегуміфікації ґрунту під дією високих температур. Об'єктом дослідження став малогумусний ґрунт із початковим вмістом гумусу 2,33%, визначеним методом Тюріна. В основі дослідження лежало вивчення швидкості хімічних процесів розкладу органічної речовини, які за своєю природою є переважно твердофазними. Реакції в твердому стані визначаються кристалічною структурою та здатністю реагуючих компонентів до дифузії, що зумовлює специфіку кінетики дегуміфікації при високих температурах, характерних для полум'я на поверхні ґрунту під час спалювання сухої рослинності.

Для виявлення температур фазових переходів було проведено термографування зразків ґрунту. Термограма нагрівання попередньо висушеного зразка характеризується значним екзоэффектом при температурі ≈ 200 °С, що відповідає процесу розкладу та горіння органічної речовини. Ендоефекти, що спостерігаються вище 400 °С (зокрема при 440, 510 та 550 °С), імовірно пов'язані з процесами плавлення та деструкції неорганічних компонентів ґрунтової маси. Визначена

температура початку розкладу була використана як база для подальшого дослідження температурної залежності швидкості дегуміфікації.

Експериментально встановлено закономірне зменшення вмісту гумусу із збільшенням часу термічної обробки та температури. Зокрема, при температурі 400 °С вміст гумусу зменшується вдвічі всього протягом 5 хвилин. Втрата органічних речовин супроводжується виділенням CO₂, пари води та інших газоподібних продуктів (NO_x, SO₂). Для оцінки впливу температури на швидкість дегуміфікації було використано рівняння Арреніуса, яке є найбільш доцільним для складних макромолекул, таких як гумінові та фульвокислоти. Побудова залежності lnk від 1/T дозволила розрахувати енергію активації процесу горіння гумусу, яка склала приблизно 63 кДж/моль.

Отримане значення енергії активації свідчить про високу термочутливість реакцій, пов'язаних із дегуміфікацією. Низький енергетичний бар'єр вказує на те, що для проходження реакцій окиснення гумусу потрібна відносно невелика енергія, яка легко досягається при горінні сухоостою (300–400 °С). Частина тепла, що надходить до ґрунту, спочатку витрачається на випаровування вологи, і лише після зневоднення поверхневого шару починається інтенсивне вигорання органічної речовини. Швидкість цього гетерогенного процесу прямо залежить від пористості ґрунту та ступеня його насиченості киснем. Зважаючи на те, що для формування 1 см гумусового шару потрібні тисячі років, його миттєве знищення внаслідок підпалів є нераціональним та злочинним видом господарювання.

Список використаної літератури

1. Балюк С. А., Кучер А. В. Стратегія управління здоров'ям ґрунтів в Україні. Вісник аграрної науки. 2022. № 10. С. 5–16.
2. Тараріко Ю. О. та ін. Формування сталого ґрунтокористування в умовах кліматичних змін. Агроекологічний журнал. 2023. № 2. С. 14–25.
3. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх окультурення. Харків: Контраст, 2003. 444 с.
4. Назаренко І. І. та ін. Ґрунтознавство: Підручник. Чернівці: Книги – XXI, 2004. 400 с.
5. Медведєв В. В. Стан ґрунтів України та прогностичні зміни під впливом глобального потепління. Вісник ХНАУ. 2021. № 1. С. 22–35.
6. Santín C., Doerr S. H. Fire effects on soils: the human dimension. Phil. Trans. R. Soc. B. 2016. Vol. 371.
7. Sokolovska A. et al. Transformation of soil organic matter under anthropogenic factors. Agric. Sci. Pract. 2024. Vol. 11. No 1. P. 45–58.
8. Kravchenko Y. et al. Long-term impact of fire on soil organic matter quality. Ukrainian Journal of Ecology. 2023. Vol. 13(4). P. 112–120.

Науковий керівник – О. С. Глух, доц.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Програма круглого столу.....	5

СЕКЦІЯ 1

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ВІЙСЬКОВО-ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Н. М. Внукова, д.е.н., провідний науковий співробітник <i>НДІ правового забезпечення інноваційного розвитку НАПрНУ, м.Харків</i> ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ПОТЕНЦІЙНОГО ВІДМИВАННЯ КОШТІВ ВІД ПОРУШЕНЬ У ПРИРОДОЗБЕРЕЖЕННІ	7
Т. Є. Баранник, студент <i>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків</i> ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	13
О. Ю. Грама, студентка, Ю. С. Кондрашева, студентка, Н. І. Калюжна, студентка, А. А. Явнюк, к.б.н., доц. <i>Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ</i> СТРАТЕГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ, ПОСТРАЖДАЛИХ ВІД ТЕХНОГЕННИХ КАТАСТРОФ	15
О. О. Гура, аспірант, О. А. Літвак, к.е.н., доцент <i>Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв</i> УПРАВЛІНСЬКІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В КОНТЕКСТІ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ	17
О.О. Zhuha, PhD student, D.V. Davydov, PhD student <i>National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv</i> REMOVAL OF WEIGHED FRACTIONS FROM GAS EMISSIONS IN JET-BUBBLE CONTACTORS	20
<i>Науковий керівник – Є. В. Манойло, к.т.н., проф.</i>	
І. О. Демченко, студент <i>Національний університет Київський авіаційний інститут, Київ</i> ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ РИЗИКІВ СТІЙКОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ КІБЕРЗАГРОЗ	22

П. В. Корчига, студентка, **Б. Д. Халмурадов**, к.мед.н.,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ВПЛИВ ОБМЕЖЕНОГО ВНУТРІШНЬОГО РИНКУ
НА РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКУ** 24
Науковий керівник - Б. Д. Халмурадов, к.мед.н., проф.

І. В. Михальчук, студент, **І. С. Доманський**, студент
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ
ОПТОВОЛОКОННИХ БІЛА** 26
Науковий керівник – М. М. Радомська к.т.н., доц.

М.М. Москаль, аспірант
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків*
**ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА
АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПРИ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА ГАЗУ** 28
Науковий керівник – Є. В. Манойло, к.т.н., проф.

П.С. Старжинський, аспірант, **О.Г. Жукова**, к.т.н., доц., **І.О. Прокопенко**,
аспірант, **В.С. Ратушний**, студент
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
ВІЙНА ТА ЇЇ НАСЛІДКИ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ 30

СЕКЦІЯ 2 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЕНЕРГЕТИКИ ТА ТРАНСПОРТУ

В. М. Бойко, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ЕКОЛОГІЧНА МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ
У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ** 33
Науковий керівник – Б. Д. Халмурадов к.м.н., професор

Н. Єгорченкова, д.т.н., проф., **О.Єгорченков**, д.т.н., доц.
Університет Коменського в Братиславі, Братислава
**ЦИФРОВІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНИМИ
ІНФРАСТРУКТУРНИМИ ПРОЄКТАМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ** 36

Л. М. Черняк¹, д.т.н, проф., **Д.В. Кварелашвілі**¹, **В.О. Відмаченко**¹, студенти
Т. Манецькі², д.х.н, професор, **Р. Чешельські**², к.х.н.
¹*Державний університет «Київський Авіаційний Інститут», Київ*
²*Лодзинський технологічний університет, Лодзь, Польща*
**ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ** 39

- В.С. Колесник**, д.т.н., проф., **М.Г. Аміров**, аспірант
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро
**ОБРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ
МАЛОПОТУЖНИХ БЕНЗИНОВИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ
ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ** 41
- А.О. Комісар**, студентка, **А.А. Явнюк**, к.б.н., доц.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ 45
- А. О. Коновалов**, здобувач PhD
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ
БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ** 48
Науковий керівник – О. М. Тихенко, д.т.н., проф.
- Красюк М. В.**, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ПРОВЕДЕННЯ LCA-АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ
ХІМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ** 50
- В. О. Моздольський**, аспірант
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
**ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ
В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ** 52
Науковий керівник – О. С. Волошкіна, д.т.н., проф.
- Н. М. Москальчук**, к.т.н., доц., **Б. В. Кирилів**, студент
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ*
**РОЛЬ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ** 55
- А. В. Пасльон**, аспірант, **О. Л. Матвєєва**, к.т.н., професор, **З. В. Грушак**,
асистент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІРОЛІЗУ ВТОРИННОЇ
ВУГЛЕВОДНЕВОЇ І СИРОВИНИ** 57
- О.Л. Сорочинська**, к.і.н.
Національний транспортний університет, Київ
**УПРАВЛІННЯ ПОВОДЖЕННЯМ З ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНУВАНЬ НА
ПІДПРИЄМСТВАХ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ** 60

М. В. Сушкевич, студент
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ПОДІЛЬСЬКОГО (БЕРДИЧЕВСЬКОГО)
ЛВУМГ ТОВ «ОПЕРАТОР ГТС УКРАЇНИ» 63
Науковий керівник В. Л. Клевська

В. П. Циганенко, аспірант, **І. Л. Трофімов**, к.т.н.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
ВПЛИВ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ РОСЛИННИХ ОЛІЙ НА
ВЛАСТИВОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ 65
Науковий керівник – І. Л. Трофімов, к.т.н., доц.

В. О. Якименко, студент, **К. І. Кажан**, к.т.н.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ 67

СЕКЦІЯ 3

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА СІЛЬСЬКОГО

ГОСПОДАРСТВА, ТЕРИТОРІЙ ТА АКВАТОРІЙ

С.Є. Александрова, студентка
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА
ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН м. КИЇВ 70
Науковий керівник – к.т.н., доц. Жукова О.Г.

О.Г. Бутенко, к.т.н., доцент, **А.О. Недова**, студентка
Національний університет “Одеська політехніка”
ВПЛИВ ПОГОДНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТСЬКИХ СЕРЕДОВИЩ 73

О.С. Глух, к.х.н., **К.Ю. Васирина**, студентка
Ужгородський національний університет, Ужгород
ОЦІНКА ДЕЯКИХ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ПЕРЕЧИНСЬКОГО РАЙОНУ 78

Т.В. Дудар, д.т.н., ст.н.сп., проф., **Н.Я. Вербицький**, студент
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
АНАЛІЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ
ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ ЗА 2025 РІК 79

- Р.Б. Гаврилюк**, к.геол.н., *Інститут геологічних наук НАН України*,
В.М. Балінський, *Національний екологічний центр України*, **В.В. Гулевець**,
аспірант, *Міжрегіональна академія управління персоналом*, **Є.О. Бовсунівський**,
к.т.н., *Національний університет «Київський авіаційний інститут»*
МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ У ВИЗНАЧЕННІ
ШКОДИ, ЗАВДАНОЇ РОСІЙСЬКОЮ АГРЕСІЄЮ АЗОВО-
ЧОРНОМОРСЬКОМУ БАСЕЙНУ 82
- О.М. Гамзіна**, провідний економісти
Інститут демографії та досліджень якості життя НАН України, Київ
ІНТЕГРАЦІЯ УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ ЕКОСИСТЕМНИХ
ПОСЛУГ ДО ЗАГАЛЬНОЄВРОПЕЙСЬКОГО ПРОСТОРУ 85
- О. Грама**, студентка, **Ю. Кондрашева**, студентка, **Н. Калюжна**, студентка
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ, ЯК МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД
НАФТОПРОДУКТІВ ТА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ 87
Науковий керівник – Л.М. Черняк, д.т.н., доц.
- Л.І. Григор'єва**, д.б.н., проф., **В.М. Веселовський**, аспірант
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв
СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ ГИРЛА
РІЧОК ПІВДЕННИЙ БУГ, ІНГУЛ ТА ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ
ПІВДЕННО-БУЗЬКОГО ЛИМАНУ У ДОВОЄННІ ЧАСИ 89
- Л.І. Григор'єва**, д.б.н., проф., **О.В.Макарова**, ст.викладач
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв
ДОСЛІДЖЕННЯ АКУМУЛЯЦІЇ ¹³⁷Cs ВОДОРОСТЯМИ *Cladophora fracta*
У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ ГИРЛА РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ 91
- Л.І. Григор'єва**, д.б.н., проф., **В.В. Остапенко**, аспірант
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв
ПЛАВНЕВА РОСЛИННІСТЬ ВОДОЙМ ПІВДЕННО-БУЗЬКОЇ
ЕКОСИСТЕМИ У ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИХ ЗАХОДАХ 92
- Я. А. Грушев**, студент
Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького, Запоріжжя
ПРОСТОРОВА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ
ПРОМИСЛОВОЇ ЗОНИ м. ЖИТОМИРА ЗАСОБАМИ GIS 93
Науковий керівник – А. А. Зимарова, д-р с.-г. наук, доцент

- Д. В. Давидчук**, студент
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ*
**ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ
ТА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД АГРОХІМКАТАМИ** 95
Науковий керівник - М. М. Орфанова, к.т.н., доц.
- Н.О. Іванова**, к.геогр.н.
Інститут гідробіології НАН України
**ПОШИРЕННЯ ЦІАНОБАКТЕРІАЛЬНИХ «ЦВІТІНЬ»
У ВОДОСХОВИЩАХ І МОЖЛИВОСТІ ЇХ КОНТРОЛЮ** 97
- І.А. Іванько**, к.б.н., **О.В. Селютіна**, к.б.н., **Л.В. Шупранова**, к.б.н.,
К.К. Голобородько, д.б.н.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
**СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ
ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ СИСТЕМ
В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН** 100
- Караюмер А.Ю.**, аспірант
Національний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ
**КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА БІОМАСИ ZOSTERA MARINA
ЯК ОСНОВА ДЛЯ РОЗВИТКУ «СИНЬОЇ БІОЕКОНОМІКИ»
УКРАЇНИ** 101
Науковий керівник – А.Д. Кустовська, к.х.н., доцент.
- В.В. Кацевич**, к.с.-г.н., **В.М. Ловинська**, д.с.-г.н., **І.М. Лоза**, к.б.н.,
С.А. Ситник, д.с.-г.н.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
**СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ
БІОХІМІЧНИХ МАРКЕРІВ СТАНУ ДЕРЕВ
ДЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ФІТОРЕМЕДАЦІЇ** 103
- Є. І. Коржов**^{1,2}, к.г.н., доцент, **В. А. Рудік**³, завідувач лабораторії, аспірант,
¹ *Інститут морської біології НАН України, Одеса;*
² *Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон*
³ *Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеса;*
**МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА
ФОРМУВАННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ АРЕАЛІВ ВЕКТОРНИХ ВИДІВ
КОМАРИВ У ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ ПРИЧОРНОМОР'І** 104
- І.Р. Кузик**, PhD
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка
**ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЯКІСТЬ ВОДИ ТА ЕКОЛОГІЧНУ
БЕЗПЕКУ РІЧКИ ДНІПРО В ОКОЛИЦЯХ МІСТА ХЕРСОН** 107

- Н.В. Кузнецова** к.т.н, доцент, **А.В. Решетніков** студент
*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків*
**ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ТА ВОДНИХ
РЕСУРСІВ УКРАЇНИ** 110
- Л. С. Кузнецова**, студентка
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
**ВПЛИВ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ
ІХТІОФАУНИ ПРІСНОВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ** 113
Науковий керівник – І. В.. Клімова, к.т.н., доц.
- А.С. Левицька**, студентка
*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
Полтава*
**ЕКОЛОГО-ЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НОВОГО
МІСЦЕЗРОСТАННЯ *HYACINTHELLA LEUCORHAEA*
(К.КОСН) SCHUR НА ПОЛТАВЩИНІ (УКРАЇНА)** 115
Науковий керівник – Н. О. Смоляр к.б.н., доцент
- І. І. Лугош**, аспірант, **О. Ю. Сухарева**, к.х.н., доцент
Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»
**ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ТЕРЕБІЛЯ
У МЕЖАХ НПП «СИНЕВИР»** 117
Науковий керівник – С. М. Сухарев, д.х.н., професор
- Malvi D.**, PhD student, **Dzandzava D.**, student
Kyiv Aviation Institute, Kyiv
**ANALYSIS AND MONITORING OF AIR QUALITY IN ZAPORIZHZHIA
UNDER WAR CONDITIONS** 118
Supervisor – T.V. Dudar, Dr.Eng.Sc., professor
- Ю. О. Оліненченко**, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут», м.Київ
**ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ СФЕРИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я: ДЕРЖАВНИЙ
ПІДХІД У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ ТА ПОЗИЦІЯ УКРАЇНИ** 119
Науковий керівник – Т. В. Дудар, д.т.н., проф.
- Ю.В. Панасюк**, студент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНУ РІЧКИ
ПІВДЕННИЙ БУГ** 122
Науковий керівник – А. Є. Гай, к.ф.-м.н., доцент

- І.В. Патока**, к.с.н.,
Інститут географії НАНУ, Київ.
**ПРОБЛЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ ШКОДИ ДОВКІЛЛЮ ВНАСЛІДОК
ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ
БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ** 123
- П.О. Переведенчук**, здобувач, **В.В. Федонюк**, к. геогр. н., доц.
Луцький національний технічний університет, Луцьк
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ НА
АГРОСЕКТОР У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ УКРАЇНИ** 124
Науковий керівник – В.В. Федонюк, геогр. н., доц.
- Н. В. Попович**, аспірант
Ужгородський національний університет, Ужгород
**СОРЕЦІЯ ІОНІВ АМОНІЮ ПРИРОДНИМ ЦЕОЛІТОМ
СОКРИНИЦЬКОГО РОДОВИЩА РІЗНИХ ФРАКЦІЙ** 127
Науковий керівник - О.С. Глух, к.х.н. доцент
- В. Прилуцький**, аспірант, **О.А. Сагдєєва**, к.т.н.
Одеський національний технологічний університет, Одеса
**ВАЛОРИЗАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЛИЧИНОК МУХИ ЧОРНА ЛЬВИНКА (*HERMETIA ILLUCENS*)
В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ** 128
- A.M. Sabanskyu**, PhD student, **L.P. Holodok**, PhD, **K.K. Holoborodko**, Dr. Biol. Sci.,
Prof.
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
**ASSESSMENT OF LEAF AREA INDEX (LAI) SEASONAL DYNAMICS IN
YOUNG PLANTATIONS OF *SORBUS INTERMEDIA* (EHRH.) PERS., 1806
FOR AN URBAN ECOSYSTEM** 131
Scientific supervisor – K.K. Holoborodko, Dr. Biol. Sci., Prof.
- О.О. Семінська**, к.х.н., **М.М. Балакіна**, д.х.н., **Л.О. Мельник**, д.х.н.;
О.В. Хмельницька, провідний інженер
Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ
**ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОАГУЛЯНТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ІНТЕГРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КОАГУЛЯЦІЯ-УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЯ
ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ Р. ДНІПРО** 134
- S. Sytnyk**, Dr. Agr. Sci., **V. Lovynska**, Dr. Agr. Sci., **I. Nikovska**, student,
N. Voroshylova, PhD
Dnipro State Agrarian and Economic University
**IMPACT OF *CAMERARIA OHRIDELLA* INFESTATION ON CHEMICAL
COMPOSITION OF *AESCULUS GLABRA* WILLD LEAVES
IN DNIPRO CITY, UKRAINE** 137

- Я. В. Сліпенко**, студент, **Т. В. Саснко**, к.б.н.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ
ПОДОЛАННЯ ЕФЕКТУ МІСЬКОГО ТЕПЛООВОГО ОСТРОВА** 138
- А. Ю. Фисюк**, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРЧИЦІ, СОНЯШНИКА
ТА КУКУРУДЗИ У ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ
ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ (Pb, Cu)** 139
- А. М. Чекрякова**, студентка, **О.С. Глух**, к.х.н.
Ужгородський національний університет, Ужгород
**КІНЕТИКА ДЕГУМІФІКАЦІЇ ҐРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ
ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР** 141
Науковий керівник – О. С. Глух, доц.

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ

Тези доповідей
XX Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих учених і студентів

16 квітня 2026 року

В авторській редакції