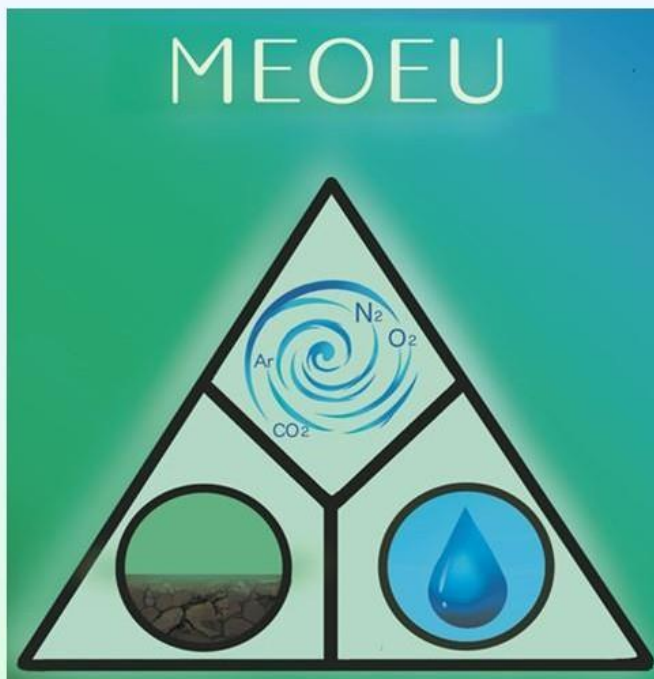




Co-funded by
the European Union

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

ГАРМОНІЗАЦІЯ УКРАЇНСЬКОГО ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО
ЗАКОНОДАВСТВА І ПРАКТИКИ У СФЕРІ
МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ



20 травня 2026
Івано-Франківськ

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ГАРМОНІЗАЦІЯ УКРАЇНСЬКОГО ТА
ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗАКОНОДАВСТВА І ПРАКТИКИ
У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ»**

20 травня 2026 року

Івано-Франківськ
2026

УДК 349.6(477+4):504.06-047.36(043.2)(082)

Г20

Рекомендовано до друку Вченою радою

Факультету природничих наук

Карпатського національного університету імені Василя Стефаника

(протокол № 09 від 19 травня 2026 року)

Головний редактор: Ольга ХАЦЕВИЧ – голова, доцент кафедри хімії Карпатського національного університету імені Василя Стефаника, вчений секретар ДУ «НІОХІМ», кандидат технічних наук

Відповідальний редактор: Софія ФЕДОРЧЕНКО – доцент кафедри хімії Карпатського національного університету імені Василя Стефаника, кандидат технічних наук

Редакційна колегія: Ольга ХАЦЕВИЧ – голова, доцент кафедри хімії Карпатського національного університету ім. В. Стефаника, вчений секретар ДУ «НІОХІМ», к.т.н., Софія ФЕДОРЧЕНКО – доцент кафедри хімії Карпатського національного університету ім. В. Стефаника, к.т.н., Ігор МИКИТИН – завідувач кафедри хімії Карпатського національного університету ім. В. Стефаника, к.т.н., Сергій КУРТА – професор кафедри хімії Карпатського національного університету ім. В. Стефаника, д.т.н., Ірина ДОВГАЛЮК – директор Державної установи «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії», к.н. з держ. управління, Мирослав МАЛЬОВАНІЙ – завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування Інституту екології, природоохоронної діяльності та туризму ім. В'ячеслава Чорновола НУ «Львівська політехніка», д.т.н., Євгенія ГЛАДКІХ – в.о. завідувача відділу агрохімії імені академіка НААН Б.С. Носка, ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», к.с.-г.н., Ірина БЕСПАЛОВА – вчений секретар НТК «Інститут монокристалів» НАН України, д.т.н., Леся ДАНИЛЮК – завідувач кафедри трудового, екологічного та аграрного права Карпатського національного університету ім. В. Стефаника, к.ю.н., Уляна КАРБІВСЬКА – професор кафедри лісового та аграрного менеджменту, д.с.-г.н., Вікторія ГНЕСДІЛОВА – завідувач кафедри біології та екології, к.б.н., Тарас ГУЦУЛ – старший науковий співробітник Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича, к.т.н., Марія ЗАСІДКО – начальник лабораторії моніторингу вод Західного регіону Дністровського БУВР.

Збірник тез доповідей науково-практичної конференції

Г20 «Гармонізація українського та європейського законодавства і практики у сфері моніторингу довкілля» (КНУВС, 20 травня 2026 р.). Електронне видання. Івано-Франківськ: Карпат. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2026. 206 с.

ISBN 978-966-640-629-6

Збірник тез доповідей науково-практичної конференції містить матеріали, надіслані учасниками конференції. У публікаціях розглядаються актуальні проблеми гармонізації законодавства ЄС та України у сфері моніторингу довкілля, практичні аспекти моніторингу об'єктів довкілля, а також вплив техногенних об'єктів на навколишнє середовище.

УДК 349.6(477+4):504.06-047.36(043.2)(082)

ISBN 978-966-640-629-6

© Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2026

ЗМІСТ

ПРАВОВІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕРЖАВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ В УКРАЇНІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	7
ГАРМОНІЗАЦІЯ ЗАКОНОДАВСТВА ЄС ТА УКРАЇНИ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ЗА ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ	14
АДАПТАЦІЯ УКРАЇНСЬКОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДО СТАНДАРТІВ ЄС У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	19
ДИРЕКТИВА (ЄС) 2025/2360 «ПРО МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК» ЯК ДОРОЖНЯ КАРТА ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ	24
АГРОҐРУНТОВИЙ АСПЕКТ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ	31
НІТРАТНОЇ ДИРЕКТИВИ	31
ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ В УМОВАХ АДАПТАЦІЇ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ	37
СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЛІ ЯК ІНСТРУМЕНТ МОНІТОРИНГУ АГРОБІОРІЗНОМАНІТТЯ ЗГІДНО З ЗАКОНОДАВСТВОМ ЄС ПРО ВІДНОВЛЕННЯ ПРИРОДИ: НАСЛІДКИ ДЛЯ УКРАЇНИ	45
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ПРАВОВІ ПІДСТАВИ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ.....	50
ГІС-ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ТЕРИТОРІЙ, ЗАБРУДНЕНИХ ВИБУХОВИМИ ПРЕДМЕТАМИ, В КОНТЕКСТІ ГАРМОНІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ТА УКРАЇНСЬКОЇ ПРАКТИКИ	60
ВПЛИВ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ В УКРАЇНІ НА КЛІМАТ.....	66
ГАРМОНІЗАЦІЯ НОРМАТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ УКРАЇНИ ТА ЄС ЯК КЛЮЧОВИЙ АСПЕКТ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ПІДТРИМКИ СТАЛОГО ДОВКІЛЛЯ	73
АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ЯК СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ CO ₂	80

БАЛАНС ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ РІЗНИХ УМОВ БІОРОЗКЛАДУ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ	87
МОНІТОРИНГ ВМІСТУ ФТОРУ В КОМПОНЕНТАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ	91
АЕРОБІОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПИЛКУ ARTEMISIA В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКУ ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ПОЛІНОЗУ	96
МОНІТОРИНГ ТРАНСКОРДОННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ: МІЖНАРОДНА СПІВПРАЦЯ	102
ШТУЧНІ ВОДНО-БОЛОТНІ УГІДДЯ ЯК ПРИРОДНООРІЄНТОВАНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ДОЩОВИХ ВОД В УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ	110
ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ, ЯКІ СТВОРЮЮТЬ ПФАС ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ	114
МОНІТОРИНГ І АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ СОЛЯНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ	118
ЗА 2024-2025 РОКИ	118
НОВИЙ ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІoT ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ	125
ГІДРОДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ В РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ АКВАКУЛЬТУРНИХ СИСТЕМАХ ЯК ЧИННИК ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА РИБОПРОДУКТИВНОСТІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ МОЛОДІ ОСЕТРОВИХ	132
РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ТА РЕВАЙЛДІНГ АНТРОПОГЕННО ПОРУШЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ МІСТА КРЕМЕНЧУК	137
МОНІТОРИНГ АГРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЛУЧНИХ ОСУШЕНИХ ҐРУНТІВ МЕЛІОРАТИВНОЇ СИСТЕМИ «СНЯТИНСЬКА» ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	142
МОНІТОРИНГ ЗМІН РОСЛИННИХ ПАРАМЕТРІВ БУРКУНУ, СОРГО, ПРОСА В ПРОЦЕСІ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ	

.....	146
ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД ЯК ДОБРИВА.....	151
МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ ПОБЛИЗУ АЗС	159
ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИЙ ТА ФІТОІНДИКАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РОСЛИН У МОНІТОРИНГУ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ	162
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У ОБОЛОНЦІ (КАПСУЛІ)	170
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСТРАКЦІЇ РУХОМИХ ФОРМ МІДІ ТА ЦИНКУ З ҐРУНТІВ ЗАКАРПАТТЯ РІЗНИМИ РЕАГЕНТАМИ	175
САМОСІЙНІ ЛІСИ ЯК ВУГЛЕЦЕВІ РЕЗЕРВУАРИ: ІНТЕГРАЦІЯ МОНІТОРИНГУ У КЛІМАТИЧНУ ЗВІТНІСТЬ УКРАЇНИ	181
АНАЛІЗ І СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ КАЛІЙНИХ ДОБРИВ У ПИТАННЯХ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ	186
ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ПРИКОРДОННИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ	193
УЧАСТЬ ГРОМАДЯНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ТА УКРАЇНСЬКІ РЕАЛІЇ	200

ПРАВОВІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕРЖАВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ В УКРАЇНІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

LEGAL PRINCIPLES OF THE FUNCTIONING OF THE STATE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM IN UKRAINE: CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

*Данилюк Л.Р., кандидат юридичних наук, доцент, Карпатський
національний університет імені Василя Стефаника*

Моніторинг довкілля є однією з ключових функцій в галузі управління довкіллям. Її реалізація характеризується складністю та об'ємністю як з точки зору необхідних управлінських рішень й завдань, так і з позиції затребуваного ефективного поєднання правових, організаційних, технічних і інших задач. Крім цього, вважаємо, що про належність та дієвість системи моніторингу довкілля мають свідчити не формальні звіти й узагальнена статистика уповноважених суб'єктів, а практична своєчасність моніторингу, реальна обізнаність населення з його результатами, широке залучення громадськості до вдосконалення системи моніторингу довкілля та суміжних процесів.

Законодавство України в сфері моніторингу довкілля являє собою систему нормативно-правових актів, які покликані встановити рамкові засади для здійснення відповідної діяльності, а відтак деталізувати процедуру її здійснення.

Так, правовою базою для функціонування системи моніторингу довкілля в Україні є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», який у ч. 1 ст. 22 закріплює, що «З метою забезпечення збору, обробки, збереження

та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень в Україні створюється система державного моніторингу навколишнього природного середовища».

Наступним спеціальним документом у цій сфері є Положення про державну систему моніторингу довкілля. В ньому представлено визначення державної системи моніторингу довкілля й системи моніторингу, встановлено принципи її створення та функціонування, узагальнено суб'єктів здійснення моніторингу довкілля. Також у Положенні деталізовано основну мету й завдання системи моніторингу, окреслено її організацію та функціонування, прописано взаємовідносини суб'єктів системи моніторингу.

Варто зауважити, що додатково підзаконними актами сьогодні регулюється порядок здійснення державного моніторингу вод, атмосферного повітря, земель, ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення.

Водночас державна система моніторингу довкілля в Україні є одним з пріоритетних напрямів реформування. Першочергово це обумовлено євроінтеграційними процесами й тільки посилилось в умовах воєнного стану та в перспективах повоєнного відновлення.

Євроінтеграція України є ключовим зовнішнім стимулом для модернізації довкілльового законодавства України, приведення його у відповідність до *acquis communautaire*. Європейський підхід в довкілльовому праві, зокрема, передбачає: інтеграцію екологічної політики в усі сектори суспільного розвитку (промисловість, сільське господарство, транспорт, енергетика, інші); пріоритет превентивних механізмів перед каральними;

участь громадськості як необхідний елемент процесу ухвалення екологічно важливих рішень [1, с. 65].

Існуюча система моніторингу довкілля базується на виконанні розподілених функцій її суб'єктами і складається з підпорядкованих їм підсистем. Кожна підсистема на рівні окремих суб'єктів системи моніторингу має свою структурно-організаційну, науково-методичну та технічну бази [2]. Однак чинна система не може в повній мірі забезпечити вирішення основних проблем у сфері охорони навколишнього природного середовища, зокрема: неефективна взаємодія галузевих складових системи моніторингу довкілля; відсутність оперативного реагування на виникнення, попередження та мінімізацію ризиків пов'язаних із забрудненням довкілля та його шкідливим впливом на здоров'я людини; недостатня реалізація права доступу до екологічної інформації; відсутня взаємодія державної системи моніторингу довкілля України з аналогічними системами держав-членів ЄС [3].

Відтак удосконалення проведення моніторингу стану навколишнього природного середовища фігурує серед очікуваних результатів імплементації в українське законодавство Екологічного acquis Європейського Союзу [4, с. 25]. Комплексний моніторинг довкілля виокремлювався попереднім профільним міністерством (Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України) [5] як галузь активного проведення поточних реформ. А фахові правозахисні громадські організації відносять нездійснені горизонтальні реформи, зокрема моніторинг, і необхідність продовжувати роботу над підзаконними актами у сфері якості та впровадження моніторингу атмосферного повітря до довкіллевих проблем, які потребують нагального вирішення в Україні [6, с. 5, с. 7].

В Звіті про виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом за 2024 рік у частині Навколишнє середовище та цивільний захист Україна вказує на досягнення 83% загального прогресу, в тому числі 3% за звітний період [7, с. 5, с. 97]. Для виконання Угоди про асоціацію та наближення національного законодавства до права ЄС у частині вдосконалення державної системи моніторингу довкілля впродовж 2024 року в Україні: прийнято Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення», внесено зміни до Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря й до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань здійснення моніторингу вод, затверджено Порядок проведення моніторингу загроз хімічній безпеці та виявлення їх джерел [7, с. 97–99].

Також у 2024 році затверджені нові Порядок функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем, Порядок проведення моніторингу земель і ґрунтів, що наберуть чинності через шість місяців з дня скасування чи припинення воєнного стану й замінять нормативно-правові акти, які регулюють на разі відповідні правовідносини. Тоді ж набере чинності Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля», яким, серед іншого, передбачено впровадження ряду новацій у Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища», зокрема в частині державної системи моніторингу. Наприклад, у його площину вводиться поняття державної системи моніторингу довкілля, структуруються її підсистеми (атмосферне повітря, води, землі й ґрунти, ліси, біологічне та ландшафтне різноманіття, відходи, геологічне середовище, фізичні фактори),

встановлюються її рівні (національний (державний), регіональний, локальний (місцевий), об'єктовий). Всі ці кроки зумовлені зобов'язаннями України по імплементації європейських стандартів моніторингу довкілля в вітчизняне законодавство й практику згідно з Угодою про асоціацію та похідними від неї документами. Ще раніше з цією ж метою були розроблені та уже на сьогодні введені в дію Порядок здійснення державного моніторингу вод і Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Однак звісно, що ці порядки наразі не є досконалими й вподальшому також потребуватимуть змін і доповнень, виходячи з посилення етапів євроінтеграції.

Так, 1 квітня 2026 року постановою Кабінету Міністрів України № 438 було затверджено Національну програму адаптації законодавства України до права Європейського Союзу (acquis ЄС). Розділ 27 Програми присвячений як раз довкіллю та змінам клімату й охоплює понад сто сторінок завдань по наближенню до стандартів ЄС. Серед яких у сфері моніторингу можна виокремити цілі в вигляді імплементації: Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи; Директиви 2004/107/ЄС щодо миш'яку, кадмію, ртуті, нікелю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів в атмосферному повітрі, зі змінами; Директиви 2009/90/ЄС, що встановлює, відповідно до Директиви 2000/60/ЄС, технічні специфікації для хімічного аналізу та моніторингу стану води; Директиви 2008/56/ЄС про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері екологічної політики щодо морського середовища (Рамкова директива про морську стратегію); Директиви 2017/845 про внесення змін до Директиви 2008/56/ЄС щодо орієнтовних переліків елементів, які мають бути враховані під час підготовки морських стратегій; Директиви 2008/105/ЄС про встановлення

екологічних нормативів якості у сфері водної політики, що вносить зміни та скасовує Директиви 82/176/ЄЕС, 83/513/ЄЕС, 84/156/ЄЕС, 84/491/ЄЕС, 86/280/ЄЕС та вносить зміни до Директиви 2000/60/ЄС; Імплементацийного рішення Комісії від 26 червня 2014 року щодо форматів звітування про національні програми з імплементції Директиви 91/271/ЄЕС; Регламенту 2024/1991 про відновлення природи та внесення змін до Регламенту 2022/869; Регламенту 2019/1021 про стійкі органічні забруднювачі; окремих актів права Європейського Союзу у сфері встановлення схеми торгівлі квотами на викиди парникових газів у межах Союзу, створення та функціонування резерву стабільності ринку, а також механізму коригування на кордоні вуглецю; Директиви 2025/2360 про моніторинг ґрунту та стійкість (Закон про моніторинг ґрунту); Делегованого Регламенту 2025/2188, що доповнює Регламент 2024/1991 шляхом встановлення науково обґрунтованого методу моніторингу різноманіття запилювачів та популяцій запилювачів; а також забезпечення якості, точності та простежуваності вимірювань під час здійснення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Звичайно, що кожна з вказаних цілей деталізується в Програмі через спеціальні завдання, а також строки їх виконання й відповідальних за це суб'єктів.

Отож, потрібно констатувати факт, що питання даного Розділу Програми є одними з ключових і найскладніших у контексті всього євроінтеграційного курсу України. Й хоча ми вже маємо певний прогрес, у напрямку функціонування державної системи моніторингу довкілля відповідність екологічному аспису ЄС наразі є тільки частковою, що передбачає подальші інтенсивні реформи в найближчі роки.

Список використаних джерел

1. Малишева Н. Р. Еволюція феномену реалізації довкілльового законодавства під впливом сучасних викликів і загроз. *Альманах права*. 2025. Випуск 16. С. 61–68. <https://doi.org/10.33663/2524-017X-2025-16-61-68>.
2. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічний моніторинг довкілля. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/ekologichnyj-monitoring-dovkillya/>
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Комплексний моніторинг довкілля. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/reformy/kompleksnyj-monitoring-dovkillya/> Звіт про виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом за 2024 рік. 147 с.
4. Дослідницька служба Верховної Ради України. Концепція адаптації природоохоронного законодавства України до екологічного надбання Європейського Союзу («The EU Environmental Acquis»). 26 с. <https://research.rada.gov.ua/uploads/documents/32271.pdf>.
5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Реформи. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/reformy/>
6. Екологія–Право–Людина. Візія екологічної політики України: аналітичний документ. 14 с. <https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2025/07/Viziya-ekologichnoi-polityky-Ukrainy.pdf>
7. Звіт про виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом за 2024 рік. 147 с. <https://eu-ua.kmu.gov.ua/wp-content/uploads/Zvit-pro-vykonannya-Ugody-pro-asotsiatsiyu-za-2025-r.pdf>.

ГАРМОНІЗАЦІЯ ЗАКОНОДАВСТВА ЄС ТА УКРАЇНИ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ЗА ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

*Кузьменко І.С., заступник завідувача відділу землевпорядних робіт та оцінки землі, Державна установа Інститут охорони ґрунтів України
Молдаван Л.П., заступник завідувача лабораторії екологічної безпеки земель, якості продукції та довкілля, Державна установа Інститут охорони ґрунтів України*

Погоріла Л.П., науковий співробітник лабораторії моніторингу та агрохімічної паспортизації ґрунтів, Державна установа Інститут охорони ґрунтів України

Єрмакова Т.В., науковий співробітник відділу дослідження ефективності ґрунтоохоронних заходів, Державна установа Інститут охорони ґрунтів України

Сучасний етап європейської інтеграції України вимагає системної трансформації національного законодавства відповідно до правових норм і стандартів Європейського Союзу, особливо у сферах охорони довкілля, сталого сільського господарства та цифровізації державного управління. Органічне землеробство посідає центральне місце в Європейському зеленому курсі (European Green Deal) та стратегії «Від ферми до виделки» (Farm to Fork), де встановлено амбітну ціль — довести частку органічних сільськогосподарських угідь до 25 % до 2030 року [1].

Європейський Союз активно впроваджує сучасні технології моніторингу compliance, зокрема дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з супутників Copernicus Sentinel-1 та Sentinel-2, геоінформаційні системи (ГІС) та інтегровані системи ідентифікації земельних ділянок (LPIS/IACS). Ці інструменти

дозволяють здійснювати об'єктивний, оперативний і територіальний контроль за дотриманням екологічних вимог, зменшуючи потребу у застосуванні класичних методів виїзного моніторингу [2].

Для України, яка володіє одним із найбільших аграрних потенціалів Європи, розвиток органічного сектору є важливим фактором підвищення експортної конкурентоспроможності, відновлення ґрунтів і сталого розвитку сільських територій, особливо в умовах післявоєнної відбудови. Національне законодавство у цій сфері (зокрема Закон України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції») перебуває на етапі активної гармонізації з ключовим актом ЄС — Регламентом (ЄС) 2018/848 та його доповненнями. Водночас зберігаються значні прогалини щодо механізмів моніторингу, верифікації відповідності та інтеграції цифрових технологій у контрольні процеси [3].

Традиційні методи державного нагляду за органічним виробництвом (документарний аудит та періодичні інспекції) демонструють обмежену ефективність на великих територіях, характеризуються високою ресурсозатратністю та певним рівнем суб'єктивізму. У цьому аспекті інтеграція геоінформаційних систем із даними дистанційного зондування Землі створює підґрунтя для впровадження превентивного підходу до екологічного моніторингу, заснованого на аналізі даних, що забезпечує оцінювання стану ґрунтів, біорізноманіття, виявлення застосування заборонених в органічному виробництві речовин та контроль дотримання екологічних вимог.

Незважаючи на наявність окремих досліджень, присвячених екологічному законодавству ЄС, розвитку органічного землеробства в Україні чи застосуванню ГІС у сільському господарстві, комплексне наукове осмислення питань

гармонізації законодавства саме через призму інтеграції ГІС-технологій у систему моніторингу органічного виробництва залишається недостатньо розробленим. Відсутність системних методологічних підходів і практичних рекомендацій щодо адаптації європейського досвіду до українських умов актуалізує обрану тему дослідження.

Органічне землеробство в Україні демонструє значну стійкість та експортну орієнтацію навіть в умовах воєнних викликів. Станом на кінець 2024 року загальна площа сертифікованих органічних та перехідних земель становила приблизно 350 тис. га (з них близько 320 тис. га — повністю органічні). Кількість сертифікованих операторів сягнула 436, переважну більшість з яких становлять сільськогосподарські виробники.

У 2024 році Україна експортувала 243 тис. тонн органічної продукції на суму 141 млн USD до 31 країни світу, посівши 3-тє місце серед постачальників органічної продукції до ЄС за обсягом (понад 203 тис. тонн). Експорт залишається домінуючим каналом збуту: частка ЄС становить близько 84 %. Водночас частка органічних угідь в Україні не перевищує 1 % від загальної площі сільськогосподарських земель (близько 41 млн га). Для порівняння, у країнах ЄС цей показник у 2023–2024 роках коливався на рівні 10,8–11 %, з амбітною метою досягти 25 % до 2030 року відповідно до European Green Deal та стратегії Farm to

Така диспропорція свідчить про значний нереалізований потенціал України, який може бути активізований завдяки родючим ґрунтам, післявоєнній відбудові та гармонізації регуляторного поля.

У традиційному (конвенційному) сільському господарстві ГІС-технології та елементи точного землеробства активно

впроваджуються великими та середніми підприємствами. Вони забезпечують зростання врожайності на 5–22 %, зниження витрат на ЗЗР до 50–70 % та оптимізацію використання ресурсів. Провідні агрохолдинги широко застосовують супутникові дані (Sentinel, Planet), NDVI-аналіз, дрони та диференційоване внесення добрив на десятках тисяч гектарів. Під час повномасштабної війни ГІС стали критично важливими для моніторингу посівних площ та оцінки втрат навіть на складних територіях.

Натомість в органічному землеробстві застосування ГІС-технологій носить фрагментарний характер і обмежується окремими передовими господарствами. Системне державне використання цих інструментів для цілей моніторингу compliance на національному рівні практично відсутнє. Саме ця прогалина створює унікальне наукове та прикладне поле для запропонованого дослідження: інтеграція ГІС може стати не лише фактором підвищення ефективності, а й ключовим елементом забезпечення прозорості та довіри європейських партнерів до українського органічного сектору.

Такий підхід дозволяє суттєво підвищити якість державного регулювання, зменшити адміністративне навантаження та створити науково обґрунтовану основу для цифрової трансформації екологічного контролю в аграрній сфері України.

Отже, гармонізація українського законодавства у сфері органічного виробництва з нормативно-правовою базою Європейського Союзу потребує не лише формального наближення до положень Регламенту (ЄС) 2018/848, а й створення сучасної цифрової системи екологічного контролю, заснованої на інтеграції ГІС-технологій, даних дистанційного зондування Землі та автоматизованого моніторингу. Використання таких інструментів забезпечує підвищення прозорості та об'єктивності

державного нагляду, мінімізацію адміністративних і ресурсних витрат, а також формування науково-обґрунтованого механізму верифікації екологічної відповідності органічного виробництва. В умовах євроінтеграції та післявоєнної відбудови України впровадження цифрових підходів до моніторингу органічного сектору має стати одним із пріоритетних напрямів удосконалення аграрного та екологічного законодавства, оскільки саме ефективність системи контролю й відповідність європейським стандартам визначатимуть рівень довіри міжнародних партнерів, конкурентоспроможність української органічної продукції та перспективи сталого розвитку аграрної сфери держави.

Список використаних джерел¶

1. → Council of the European Union. From farm to fork. [https://www.consilium.europa.eu/en/policies/from-farm-to-fork/¶](https://www.consilium.europa.eu/en/policies/from-farm-to-fork/)
2. → OBSERVER: How Copernicus helps implement the CAP. [Електронний ресурс] // Copernicus. 2023. [https://eu-space.europa.eu/news/observer-how-copernicus-helps-implement-cap¶](https://eu-space.europa.eu/news/observer-how-copernicus-helps-implement-cap)
3. → Жорсткі стандарти ЄС заходять в Україну: Рада затує нову єру органічного виробництва. [Електронний ресурс] // Agravery. [https://agravery.com/uk/posts/show/zorstki-standarti-es-zahodat-v-ukrainu-rada-gotue-novu-eru-organicznego-virobnictva¶](https://agravery.com/uk/posts/show/zorstki-standarti-es-zahodat-v-ukrainu-rada-gotue-novu-eru-organicznego-virobnictva)
4. → Agricultural area under organic farming in Europe. [Електронний ресурс] // European Environment Agency (EEA). №181. 2022. С. 110-114. [https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/agricultural-area-used-for-organic.¶](https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/agricultural-area-used-for-organic)

АДАПТАЦІЯ УКРАЇНСЬКОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДО СТАНДАРТІВ ЄС У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

ADAPTATION OF THE UKRAINIAN AIR MONITORING SYSTEM TO EU STANDARDS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Людмила Яциук кандидат хімічних наук, доцент кафедри
екології та природоохоронних технологій,
Черкаський державний технологічний університету*

Процес інтеграції України до Європейського Союзу зумовлює необхідність узгодження національного екологічного законодавства з європейськими стандартами. Чинна європейська модель контролю якості повітря докорінно відрізняється від української за принципами зонування територій, методиками проведення замірів, алгоритмами оцінювання рівня шкідливих домішок та порядком оповіщення громадськості.

На сьогодні в Україні вже сформовано правовий фундамент для впровадження європейських регламентів у сферу моніторингу довкілля. Зокрема, накази Міндовкілля, видані у грудні 2024 та лютому 2025 років, спрямовані на розбудову та забезпечення функціонування мережі регіональних моніторингових центрів. У контексті цих реформ особливого значення набуває аналіз трансформації підходів до оцінки стану атмосфери на локальному рівні. Це є стратегічно важливим для реалізації концепції сталого розвитку держави та її окремих регіонів.

Методологічні засади організації моніторингових досліджень в Україні та країнах ЄС мають суттєві розбіжності.

Наразі ключовим суб'єктом моніторингу в Україні залишається Український гідрометеорологічний центр (УкрГМЦ), який оперує мережею у 53 містах, що включає 162 стаціонарні пункти, два маршрутні пости та дві станції спостереження за транскордонним перенесенням забруднювачів [1]. Проте через наслідки воєнних дій та структурні зміни в промисловості країни наявна мережа постів застаріла і потребує докорінної оптимізації.

Натомість європейська практика передбачає здійснення моніторингу в межах чітко визначених зон та агломерацій. Згідно з вимогами ЄС, агломераціями визнаються урбанізовані території (міста разом із передмістями), чисельність населення яких перевищує 250 тисяч осіб, або інші специфічні зони, визначені законодавством [2].

Значні розбіжності між національною та європейською моделями моніторингу проявляються у сфері автоматизації процесів. У країнах ЄС збір, обробка та аналіз проб атмосферного повітря базуються на використанні автоматизованих вимірювальних станцій, сучасних сенсорів та геоінформаційних систем (ГІС). Натомість мережа постів вітчизняної гідрометеослужби залишається переважно неавтоматизованою, що унеможлиблює передачу даних у реальному часі, як того вимагають Директиви 2008/50/ЄС та 2004/107/ЄС. Модернізація української технічної бази згідно з європейськими стандартами потребує масштабного оновлення обладнання, що за нинішніх обставин критично залежить від залучення міжнародних інвестицій та фінансової підтримки партнерів.

Хоча державна система України офіційно регламентує моніторинг 28 забруднювачів (включаючи вісім важких металів) [3], фактично на більшості об'єктів вимірюється лише 5–7 основних сполук. Показники Державної екологічної інспекції, що охоплюють понад 65 параметрів, мають вибірковий та

нерегулярний характер [4]. У Європі ж ведеться постійний контроль за більш ніж 20 сполуками, зокрема за леткими органічними речовинами. Аналіз переліку поллютантів виявляє суттєві відмінності: попри спільний контроль оксидів азоту, сірки та вуглецю, в Україні досі не впроваджено поділ пилу на фракції PM₁₀ та PM_{2.5} за європейським зразком. Також поза межами регулярного вітчизняного спостереження залишаються такі небезпечні речовини, як озон, бензол, арсен та ртуть, які є обов'язковими для контролю в містах ЄС.

У Євросоюзі обсяг моніторингових програм визначається пороговими рівнями забруднення. Такий підхід дозволяє раціонально використовувати ресурси, фокусуючись на критичних забруднювачах замість вимірювання всього спектру речовин без потреби.

В Україні режим відбору проб зумовлений типом станції та конкретними завданнями спостереження. Зокрема, на мережі Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського триває адаптація до вимог ЄС. Вона передбачає перехід до новітніх систем безперервного моніторингу, де дані оновлюються щохвилини та доступні громадськості в онлайн-режимі через спеціалізовані сервіси (наприклад, SaveEcoBot або мобільні додатки) [5].

Недосконалість поточної системи екологічного контролю на рівні громад має комплексний характер. Основні проблеми пов'язані з відсутністю структурованих баз даних, що поєднували б результати спостережень із детальним аналізом локальних метеорологічних чинників та фаховою експертизою. Наразі рівень вмісту багатьох токсичних сполук визначається розрахунковим шляхом на основі звітів промислових підприємств, а не шляхом прямих вимірювань. Дефіцит реальних показників фактичного забруднення робить встановлені ліміти на

викиди для суб'єктів господарювання досить умовними. Брак якісної та відкритої екологічної інформації суттєво обмежує можливості прогнозування ризиків для місцевих екосистем та здоров'я мешканців.

На противагу цьому, директиви Європейського Союзу чітко регламентують стандарти безпеки, розмежовуючи «поріг небезпеки» для людини та «критичний рівень» для природного середовища. Країни-члени ЄС зобов'язані забезпечувати дотримання граничних концентрацій речовин, щоб мінімізувати або повністю запобігти негативному впливу на довкілля. Окрему увагу приділено дрібнодисперсному пилу: кожна держава встановлює конкретні цілі щодо зниження концентрації часток PM_{2.5} на визначений відсотковий показник протягом певного часу [6].

Кардинальне реформування системи контролю за станом повітря є ключовим фактором покращення екологічних показників міських агломерацій та фундаментом сталого розвитку держави. У найближчій перспективі успіх модернізації на рівні міст залежатиме від ефективної реорганізації управлінських процесів. Це дозволить оптимізувати розподіл бюджетних коштів та міжнародних грантів, спрямованих на оновлення національної системи екологічного моніторингу.

Список використаних джерел

1. Стаднік В., Тихомирова Т. Проблема оцінки стану повітря великих міст України на прикладі м. Харкова. *Екологічні науки*. 2019. Т. 1, вип. 24. С. 57–60. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-1-9>.

2. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for

Europe. European Commission. 2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>.

3. Шаповалов Є. Б., Салавор О. М., Якименко І. Л. Порівняльний аналіз законодавства ЄС та України в галузі охорони атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 2018. Вип. 21. С. 193–196. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/2/35.pdf>.

4. Федонюк М. А. До питання удосконалення системи державного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2015. № 12. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=541>.

5. Якість повітря в Україні онлайн. SaveEcoBot: вебсайт. URL: <https://www.saveecobot.com/>.

6. Exceedance of air quality standards in Europe. European Environment Agency: website. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards> (дата звернення: 09.05.2026).

ДИРЕКТИВА (ЄС) 2025/2360 «ПРО МОНІТОРИНГ ГРУНТІВ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК» ЯК ДОРОЖНЯ КАРТА ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ГРУНТІВ В УКРАЇНІ

DIRECTIVE (EU) 2025/2360 "ON SOIL MONITORING AND SUSTAINABILITY" AS A ROADMAP FOR THE IMPLEMENTATION OF A SOIL MONITORING SYSTEM IN UKRAINE

*Вовк О.Б., к.б.н., с.н.с., Державний природознавчий музей
НАН України*

The main principles of the implementation of soil monitoring, which are defined by Directive (EU) 2025/2360, are analyzed. The possibilities of implementing the main provisions of the directive into the legislation of Ukraine are assessed.

Деградація ґрунтів та ґрунтового покриву сягнула рівня, коли світова спільнота змушена запровадити швидкі та ефективні рішення для відновлення втрачених екологічних функцій. Усвідомлено констатуючи той факт, що ґрунт є життєво важливим, обмеженим ресурсом і вважається невідновлюваним та незамінним у масштабах людського життя, Європейський Союз створює законодавче поле для організації його моніторингу, приймаючи у 2025 році директиву 2025/2360 «Про моніторинг та стійкість ґрунтів» [3].

Прийнята директива – основоположний, добре структурований документ, який охоплює всі аспекти дослідження, моніторингу, аналізу динаміки та розробки заходів протидії деградації ґрунтів на території ЄС з метою відновлення та ренатуралізації 90 % деградованого ґрунтового покриву до

2050 року. Текст документу містить 7 основних розділів, розділених на статті та 6 додатків і формує методологічне поле для підготовки та проведення моніторингу країнами-членами ЄС.

За своєю довгостроковою метою, директива є логічним продовженням низки законодавчих та практичних ініціатив ЄС, скерованих на «...перетворення Союзу на справедливе та процвітаюче суспільство із сучасною, ресурсоефективною та конкурентоспроможною економікою, спрямованою на захист, збереження та примноження природного капіталу Союзу, а також на захист здоров'я та благополуччя його громадян» [3]. Бажаними результатами реалізації цього проекту є запобігання і усунення всіх видів деградації ґрунтів для досягнення ними здорового стану до 2050 року задля надання екосистемних послуг в обсязі, достатньому для задоволення екологічних, соціальних та економічних потреб людства. Інструментами ж такої амбітної ідеї є запровадження моніторингу стану ґрунтів ЄС, створення реєстрів стану ґрунтів та деградованих (забруднених) територій, всесторонній аналіз отриманих даних для прийняття об'єктивних управлінських та господарських рішень з відновлення екологічних функцій ґрунтів. Адже, за оцінками, від 60 до 70 % ґрунтів у Союзі деградували та продовжують погіршуватися і може знадобитися сотні років, щоб виробити лише 1 сантиметр верхнього шару ґрунту, тоді як процес деградації та повна втрата ґрунту відбуваються дуже швидко.

Україна, яка зараз проходить шлях до повноцінного членства в ЄС, матиме зобов'язання щодо імплементації основних положень цієї директиви у своє законодавство, фундаментальні та прикладні аспекти наукових досліджень ґрунтів та ведення моніторингу їхнього стану. За останні роки законодавство України в цій галузі зазнало якісних змін, однак, через надмірну утилітарність питання екологічних функцій,

біорізноманіття та охорони ґрунтів залишаються не пропрацьованими [1,2]. Аналізуючи основні положення цієї директиви, прагнемо звернути увагу на важливі об'єкти моніторингу ґрунтів, наукова інформація про які не долучена, або лиш частково долучена до проектованої системи національного моніторингу ґрунтів.

Директива чітко і однозначно визначає терміни, якими оперує, що надзвичайно важливо для вироблення уніфікованої стратегії моніторингу ґрунтів для всіх країн ЄС. Методологічно пропрацьовано поняття «екосистемних послуг» і введено їх в поняття «здорові ґрунти» - ґрунти, які перебувають у хорошому хімічному, біологічному та фізичному стані і тому можуть забезпечувати екосистемні послуги, життєво важливі для людини та довкілля, такі як безпечні, поживні та достатні продукти харчування, біомаса, чиста вода, кругообіг поживних речовин, зберігання вуглецю та середовище існування для біорізноманіття. Однак, беручи до уваги той факт, що ґрунти надають людству широкий спектр інших послуг, такі як: облаштування цивілізаційної інфраструктури, джерело сировини або архів геологічної, геоморфологічної та археологічної спадщини тощо, які масштабно руйнують екосистеми і призводить до втрати життєво важливих екосистемних послуг, важливо знайти баланс між цими двома типами послуг.

Звертає на себе увагу визначення деградації ґрунту, в якому, на рівні механічної та хімічної трансформації, зазначена втрата біорізноманіття та біологічної активності ґрунту. Важливо, що методичні додатки до директиви містять інформацію про межі оптимуму для більшості дескрипторів (параметр, що описує фізичну, хімічну або біологічну характеристику здоров'я ґрунту), як критерії здорового стану ґрунтів. Доволі детально прописано методи оцінки втрати

біорізноманіття ґрунтами, які охоплюють як інструментальні підходи, так і якісну оцінку біоти. Стале управління ґрунтами призводить до збільшення секвестрації вуглецю та в більшості випадків до супутніх вигод для екосистем та біорізноманіття. Підкреслено, що використання природних рішень для відновлення «губчастої» функції ґрунтів, збільшить постачання чистої та прісної води, зменшить наслідки повеней та пом'якшить наслідки посух. Важливо максимізувати здатність ґрунтів утримувати та очищувати воду, а також зменшувати забруднення.

Однозначно визначена базова інформація про структуру та різноманіття ґрунтового покриву, розташування точок відбору ґрунтових проб (карти ґрунтових регіонів, єдина класифікація ґрунтів, єдині рекомендації щодо опису ґрунтів) вже на старті досліджень забезпечують співмірність отриманої інформації та адекватність її відображення в майбутніх базах даних [4]. Вагома роль у вирішенні завдань просторової оцінки стану ґрунтового покриву відводиться дистанційним методам дослідження. Водночас, на рівні держав-членів допускається визначення особливих дескрипторів ґрунту та методик їхньої оцінки, які допоможуть врахувати природні та господарські відмінності вузьких ґрунтових локалітетів за умови проходження акредитації методик та верифікації передавальних функцій. Держави-члени повинні забезпечити проведення нових вимірювань ґрунту кожні шість років у рамках однієї кампанії з відбору проб або в рамках безперервної схеми відбору проб протягом відповідного шестирічного періоду. Вперше буде зроблена спроба моніторингу ґрунтів під різними типами покриттів та територій позбавлених природного ґрунтового покриву, отримані показники герметизації та видалення ґрунту. Оновлення значень показників герметизації ґрунту та видалення ґрунту відбуватимуться кожні три роки на основі наявної інформації, яка охоплюватиме і

динаміку площ таких ґрунтів і їхні функціональні параметри.

Важливим кроком до досягнення цілей директиви буде створення до 2027 року цифрового порталу даних про стан ґрунту, який забезпечить доступ у геоприв'язаному просторовому форматі до даних про стан ґрунтів, агрегованих на рівні одиниць ґрунту або на більш детальному рівні. А до 2029 року має запрацювати реєстр потенційно забруднених та забруднених територій. Отримані дані з цих реєстрів планують зробити доступними для широкого кола споживачів.

Першу оцінку стану ґрунтів за отриманими параметрами моніторингу планують провести вже у 2031 році з метою визначення того, чи існує критична втрата екосистемних послуг, враховуючи відповідні дані та наявні наукові знання. На основі проведеної оцінки, компетентні органи влади у координації з місцевими, регіональними та національними профільними структурами, визначають для кожного ґрунтового району ділянки, що не відповідають критеріям здорового ґрунту і потребують оптимізації стану та стійкості та інформують про це громадськість. Дані моніторингу ґрунтів, результати оцінок їхнього функціонального стану, мають бути використані для розробки програм, планів та заходів з відновлення здоров'я ґрунтів.

Державна політика включатиме заохочення та підтримку землевласників для покращення здоров'я та стійкості ґрунту, забезпечуючи легкий та рівний доступ до неупереджених науково обґрунтованих консультацій та інформації, підвищення обізнаності про численні середньострокові та довгострокові переваги практик, що покращують здоров'я та стійкість ґрунту. Приймаючи рішення щодо заходів для зниження ризику деградації та забруднення ґрунтів та прагнучи деконтамінації ґрунту, держава забезпечує реалізацію послідовного плану дій

щодо запобігання забруднення в майбутньому.

Підкріплені результатами моніторингу просвітницькі ініціативи в громадах будуть націлені на спрямовану діяльність з максимального зменшення площі ґрунту, що постраждав від запечатування та зрізання, зокрема шляхом заохочення повторного використання та перепрофілювання запечатаних ґрунтів, вибору під виробництва територій, де втрата екосистемних послуг буде мінімальною, зокрема територій із сильно деградованими ґрунтами тощо. Прагнучи компенсувати в розумній мірі втрату ґрунтом здатності надавати екосистемні послуги, підтримуватимуться ініціативи з розгерметизації запечатаних ґрунтів та реконструкції ділянок, на яких було видалено ґрунт.

Директива ЄС 2025/2360 «Про моніторинг та стійкість ґрунтів» - стратегічна комплексна програма дій для забезпечення об'єктивної оцінки динаміки сучасного стану ґрунтів та ґрунтового покриву, природоощадливого ґрунтокоритування, відновлення функціональної здатності ґрунтів та запобігання деградації ґрунтового покриву в майбутньому. Україна володіє багаторічним досвідом ведення моніторингу в сфері сільськогосподарського виробництва, використовуючи світові підходи та долучаючись до кращих наукових практик. Однак, дані моніторингу стану природних ґрунтів є дуже фрагментарними та вибілковими, задовольняючи виключно наукові інтереси. Ці інформаційні прогалини особливо помітні під час напрацювання підходів оцінки порушення та заходів відновлення ґрунтів, деградованих під час ведення воєнних дій. Досвід ЄС з ведення моніторингу ґрунтів показав вагому систематизуючу роль державного законотворення у створенні єдиної системи ведення досліджень та прийняття ґрунтоощадливих рішень і Україна лиш на початку цього шляху.

Список використаних джерел

1. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля. Закон України № 2973-IX від 20 березня 2023 року [online]. Доступне: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2973-20#Text> [Дата звернення 05 травня 2026 року].

2. Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів. Постанова Кабінету Міністрів від 23 липня 2024 р. № 848 [online]. Доступне: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text> [Дата звернення 05 травня 2026 року].

3. Directive (EU) 2025/2360 of the European Parliament and of the Council of 12 November 2025 on soil monitoring and resilience (Soil Monitoring Law) [online]. Доступне: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32025L2360> [Дата звернення 08 травня 2026 року].

4. Guidelines for Soil Description [online]. Доступне: <http://www.fao.org/docrep/019/a0541e/a0541e.pdf> [Дата звернення 07 травня 2026 року].

АГРОГРУНТОВИЙ АСПЕКТ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ НІТРАТНОЇ ДИРЕКТИВИ

AGRO-SOIL ASPECT OF THE NITRATES DIRECTIVE IMPLEMENTATION

*Ревтьє-Уварова А. В., канд. с.-г. н, старший дослідник,
ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені
О. Н. Соколовського»*

The timeline for the implementation of the Nitrates Directive at the state level is presented. The need to identify specific territories as zones vulnerable to the accumulation of nitrates from agricultural sources is argued, including by using the soil mineral nitrogen indicator, which characterizes the actual content and redistribution of ammonium and nitrate forms of nitrogen in the soil layer.

Масштабність проблеми забруднення водних об'єктів сполуками азоту, переважно сільськогосподарського походження, каталізувала впровадження у 1991 році в природоохоронне законодавство ЄС Директиви Ради 91/676/ЄС про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами із сільськогосподарських джерел (далі – Нітратна директива) [1]. Для реалізації вимог цієї директиви держави-члени ЄС вводять на національному рівні у дію закони, нормативно-правові акти та адміністративні положення тощо, адаптовані до конкретних територіальних умов та особливостей сільського господарства країни.

Загальний алгоритм імплементациї Нітратної директиви передбачає моніторинг якості вод на предмет їх забруднення азотом або потенційного ризику такого забруднення; визначення зон, вразливих до накопичення нітратів за результатами

моніторингу якості вод; розроблення Кодексу належної сільськогосподарської практики, яким послуговуються на добровільній основі; розроблення Програми дій для зон, уразливих до накопичення нітратів, заходи якої є обов'язковими до виконання на територіях, ідентифікованих як вразливі до накопичення нітратів; оцінювання ефективності впроваджених заходів за підсумками моніторингу та звітування кожні чотири роки Європейській комісії про якісний стан води водних об'єктів та ефективність заходів з управління добривами, визначених Програмою і про перегляд зон, уразливих до накопичення нітратів.

Узгоджено із Європейської дорожньою картою щодо імплементації Нітратної директиви окреслено два основні етапи її впровадження в Україні, які включають комплекс заходів державного рівня (законодавчо-контролююча функція) та рівня землекористування (реалізація конкретних сільськогосподарських практик) [2].

Наразі, в Україні процес імплементації знаходиться на етапі державного рівня, яким передбачені розроблення нормативно-правової бази, координування впровадження та контроль його ефективності. Починаючи з 2017 року йде робота з розроблення нормативно-правової документації, в тому числі й у співпраці представників державних органів управління з науковою спільнотою та громадськими організаціями. У 2021 році набули чинності такі нормативно-правові акти як Методика визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів (далі – Методика), затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [3] та Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів (далі – Правила) [4], затверджені Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України, які є

аналогом Кодексу належної сільськогосподарської практики. У 2024 році на ініціативу Міністерства аграрної політики та продовольства актуалізовано роботу над Програмою дії для зон, уразливих до накопичення нітратів.

Фактично, наявність Методики дає можливість перейти до безпосереднього проведення моніторингу якості вод із визначення ступеню їх забруднення або потенційного ризику такого забруднення, проте головним обмежуючим чинником нині виступає дефіцит фінансових і кадрових ресурсів, який вирішити в масштабах країни в умовах війни є вкрай складно. Обов'язковим наступним кроком після ідентифікації вод, забруднених сполуками азоту є визначення власне територій, з яких відбуваються ці втрати і викликають забруднення, що покладе відповідні зобов'язання з дотримання вимог Правил та Програми на землекористувачів цих земельних ділянок. Тому, гострим і відкритим питанням залишається визначення територій, з яких відбувається це забруднення. Власне подвійність цього питання – виключне агрономічне та екологічне значення, підкреслює над важливість уникнення однобічного підходу, за якого введення як наукового необґрунтованих «жорстких» обмежень застосування мінеральних добрив може призвести до суттєвого зниження продуктивності сільськогосподарських культур, так і їх необмежене внесення може погіршувати якість водних об'єктів.

В країнах ЄС використовують два підходи до визначення зон, уразливих до накопичення нітратів: загально-територіальний підхід, який передбачає поширення вимог Нітратної директиви на площу всієї території країни та виокремлення власне територій, з яких відбуваються втрати нітратів до водних об'єктів. Враховуючи строкатість ґрунтового покриву та різноманітність погодно-кліматичних умов України, в тому числі й аридизацію

клімату, необхідним є використання диференційованого підходу до виокремлення конкретних територій, вразливих до забруднення азотом з сільськогосподарських джерел. До речі, розроблення методичних підходів та практичних аспектів з визначення власне територій, з яких відбувається вимивання нітратного азоту і забруднення ним водних об'єктів покладається на розсуд і залишається відповідальністю держав-членів.

В національній Методиці, яка в повній мірі відповідає вимогам Нітратної директиви, для визначення контуру/периметру зони, уразливої до накопичення нітратів, як індикатор використано розрахунковий показник балансу азоту, який характеризує різницю між його надходженням (головним чином з добривами) і вилученням в агроєкосистемі. Про надлишок азоту і потенційні ризики його втрат у довкілля свідчить позитивний баланс, тоді як негативний – про дефіцит азоту в ґрунті. Поряд з балансом азоту, враховують також водний режим ґрунтів та коефіцієнти їх фільтрації, на підставі чого визначають потенційні умови вимивання сполук азоту з водозбірної площі до водних об'єктів та виділяють 3 типи вразливих зон [3]:

- зони високої ймовірності забруднення вод, де за умов промивного й періодично промивного водного режиму ґрунтів спостерігається позитивний баланс азоту в ґрунтах;
- зони потенційного забруднення вод, де за умов промивного й періодично промивного водного режиму ґрунтів спостерігається дефіцитний баланс азоту в ґрунтах;
- зони короткострокового забруднення, де за умов непромивного водного режиму ґрунтів спостерігається позитивний баланс азоту в ґрунтах.

Проте такий підхід в повній мірі не забезпечує врахування особливостей трансформації азоту в ґрунті та впливу на них

комплексу ґрунтових, погодних і виробничих чинників, що визначають його міграційну здатність. Тому, вкрай необхідно уникати шаблонного механічного підходу до виокремлення територій як зон, уразливих до накопичення нітратів, наслідком чого є поширення та відповідальність для звичайного агровиробника за дотримання вимог Нітратної директиви щодо обмеження застосування гною та мінеральних добрив.

Для забезпечення науково обґрунтованого визначення місць/локацій забруднення водних об'єктів сполуками азоту сільськогосподарського походження запропоновано залучити такий індикатор як вміст мінерального азоту в ґрунті, що складається з амонійної і нітратної форм. Цей показник є найбільш поширеним в Україні кількісним індикатором для оцінки фактичного вмісту доступних/рухомих форм азоту в ґрунті, а також перерозподілу його в товщі ґрунту.

Результати наукових досліджень [5] свідчать про високу інформативність показнику вмісту мінерального азоту за диференційованого підходу з виокремлення зон, уразливих до накопичення нітратів, забезпечуючи сучасне розуміння поведінки сполук азоту в навколишньому середовищі (вода і ґрунт) та поточне розуміння впливу вжитих дії щодо мінімізації їх надходження до водних об'єктів як це передбачено Нітратною директивою.

В цілому, показник мінерального азоту в ґрунті є науково обґрунтованим індикатором для діагностування ризиків втрат азоту через вимивання і забруднення ним водних об'єктів, який дозволить об'єктивно виокремити території землекористувань як зони, уразливі до накопичення нітратів, для наступного практичного впровадження вимог Нітратної директиви на рівня землекористувачів.

Список використаних джерел

1. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *EUR-Lex : Access to European Union law*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31991L0676>
2. Ревтьє-Уварова А. В. Етапність впровадження Нітратної директиви в діяльність землекористувачів. *Здоров'я ґрунтів як складова Стратегії єдиного здоров'я суспільства*: мат-ли Міжнар. наук.-практ. конф. Харків, 2025. С. 92–94.
3. Методика визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 квітня 2021 року № 244. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE36398?an=24>
4. Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України 24 листопада 2021 року № 382. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text>
5. Miroshnychenko M. M., Revtie-Uvarova A. V., Hladkikh Ye. Yu., Shevchenko T. V. National Features of the Nitrate Directive Implementation in Agricultural Practice. *Agricultural Science and Practice*. 2026. Vol. 13, №. 1. P. 3–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.15407/agrisp13.01.003>

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ В УМОВАХ АДАПТАЦІЇ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ

PROSPECTIVE WAYS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ENERGY SECTOR IN THE CONDITIONS OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

*Попович С.П. аспірант кафедра ЕЗП,
Мальований М.С. д.т.н., професор кафедра ЕЗП,
Попович О.Р. к.т.н., доцент кафедра ЕЗП,
Національний університет «Львівська політехніка»*

Climate change is a global threat that affects economic development, social systems, and the environment. Each year, the globalization of environmental challenges becomes increasingly evident, with climate change occupying a central position among them. The primary source of anthropogenic greenhouse gas emissions is conventional energy production based on the combustion of fossil fuels, while global energy consumption continues to grow steadily. The aim of this study is to emphasize the impact of climate change on the energy sector. The transition to renewable energy sources (RES) represents a strategic pathway for decarbonization and adaptation to climate change.

In the contemporary world, where energy security and environmental sustainability are gaining increasing importance, the use of renewable energy sources is becoming a priority. Therefore, it is crucial to analyze climate change adaptation measures and to implement best international practices for reducing greenhouse gas emissions through energy sector decarbonization, the deployment of energy-efficient technologies, and the shift from fossil fuels to renewable energy sources. Renewable energy contributes both to climate protection and security of energy supply. Moreover, the

combined use of different types of renewable energy sources enhances the reliability of electricity supply and economic efficiency while simultaneously reducing greenhouse gas emissions.

Адаптація до глобальної зміни клімату є процесом пристосування у природних чи людських системах у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні впливи, що дозволить знизити їх негативні наслідки та скористатися сприятливими можливостями. Зміна клімату на території України підвищує ризики для стану здоров'я населення, екосистем, водних, лісових ресурсів, сталого функціонування енергетичної інфраструктури та агропромислового комплексу, що може завдати і вже завдає колосальних збитків. Найбільш вразливими до проявів зміни клімату галузей економіки можуть виявитися сільське, лісове і водне господарство та енергетика, загалом як антропогенні, так і природні екосистеми.

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячні та вітрові електростанції, у комбінованих енергетичних системах має значний потенціал для зниження викидів парникових газів та підвищення сталості енергопостачання. Проте інтеграція ВДЕ у гібридні системи супроводжується низкою технічних, економічних та організаційних проблем.

По-перше, нестабільність і непередбачуваність виробництва є основною проблемою. Вітрові та сонячні електростанції залежать від погодних умов, що призводить до значних коливань у генерації електроенергії. Це ускладнює підтримку стабільного балансу між виробництвом і споживанням у комбінованих системах, особливо в реальному часі.

По-друге, недостатність технологій накопичення енергії обмежує ефективність ВДЕ. Хоча існують батареї та гідроакумулюючі станції, їхня ємність і швидкість відновлення

часто не відповідають піковим потребам. Водневі системи накопичення енергії можуть частково вирішити цю проблему, проте вони потребують високих капітальних витрат, складної інфраструктури та технологічної інтеграції з існуючими мережами.

Третя проблема — економічна ефективність. Вартість комбінованих систем, що включають ВДЕ та водневі накопичувачі, залишається високою порівняно з традиційними джерелами електроенергії. Ризики інвестування, непередбачуваність доходів від продажу енергії та потреба у державній підтримці можуть уповільнювати масштабне впровадження таких систем.

Крім того, організаційні та нормативні бар'єри також гальмують розвиток комбінованих систем. Відсутність єдиних стандартів інтеграції ВДЕ та систем накопичення, складності у регулюванні балансу енергомережі та необхідність модернізації операційних алгоритмів операторів системи створюють додаткові складнощі.

Нарешті, технічні виклики інтеграції водневих технологій включають ефективне перетворення електроенергії у водень, зберігання та повторне перетворення у електрику з мінімальними втратами. Невисокий ККД цих процесів і потреба у спеціалізованому обладнанні залишаються обмежувачами факторами.

Таким чином, хоча ВДЕ та комбіновані системи з водневим накопиченням мають значний потенціал для розвитку сталого енергетичного сектору, їх широке впровадження потребує подолання технічних, економічних і нормативних бар'єрів. Комплексне застосування інтелектуальних систем управління, технологій накопичення та державної підтримки є ключем до ефективної інтеграції ВДЕ у комбіновані енергетичні системи.

У світовій енергетиці вибрано пріоритетний розвиток виробництва енергії з відновлюваних джерел енергії, що дозволяє подолати енергетичні, екологічні та економічні проблеми сучасності. Позитивні результати функціонування європейської енергетики за новим низьковуглецевим курсом засвідчують правильність стратегічних рішень щодо розвитку відновлюваної енергетики. Зважаючи на подібність багатьох нагальних проблем української і європейської енергетики, стратегічні рішення для української енергетики мають урахувати відповідний європейський досвід. Оптимальним шляхом низьковуглецевого розвитку є перехід України до відновлюваних технологій.

З огляду на довгострокову перспективу розвитку енергетичної галузі України роль відновлюваних джерел є пріоритетною завдяки наявності значного енергетичного потенціалу практично невичерпного та екологічно чистого ресурсу відновлюваних джерел енергії. Розвиток науково-технічної бази відновлюваної енергетики з метою поступової заміни в Україні традиційних методів отримання енергії на відновлювані джерела енергії в межах доцільної реалізації їх потенціалу є важливим завданням для країни. Вітчизняна наука робить значний внесок у виконання Національного плану дій України з відновлюваної енергетики.

Розвідані енергоресурси можуть бути добуті вже найближчим часом із застосуванням сучасних технологій. Потенційні запаси енергоресурсів – до них належать розвідані запаси та прогнозні запаси енергоресурсів. Прогнозні запаси – це запаси енергоресурсів, наявність яких вірогідно доведено, але видобуток їх вимагає застосування нових, ще не розроблених у цей час технологій. Відновлювані або невичерпні енергоресурси – це потоки енергії, що постійно або періодично діють в природі. До них належать усі види відновлюваних джерел енергії: біомаса

(за винятком дров), сонячна, вітрова, геотермальна енергія, енергія припливів, хвиль, малих водотоків, тепла енергія океану.

Створено й постійно оновлюється атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії, що являє собою збірник картографічних та пояснювальних матеріалів, систематизований за основними напрямками впровадження ВДЕ, перспективних для освоєння в Україні: сонячна енергія, енергія вітру, енергія малих рік, енергія біомаси, геотермальна енергія та енергія довкілля.

Перша редакція Атласу енергетичного потенціалу України, випущеного в 2001 році, розроблена в межах виконання роботи «Створення інформаційно аналітичної системи оцінки потенціалу відновлюваних джерел енергії України». Використання відновлюваних джерел для вирішення проблем енергозабезпечення населення та промисловості є надзвичайно важливим для України, що насамперед пов'язано з енергодефіцитністю й негативними тенденціями в галузі існуючої вітчизняної енергетичної системи та незадовільним станом оточуючого середовища.

Аналіз останніх політичних рішень та впроваджених законодавчих ініціатив показують, що вже зараз галузь відновлюваної енергетики має всі передумови для забезпечення суттєвого рівня декарбонізації економіки України – високий ресурсний потенціал відновлюваних джерел енергії, законодавчо-правову базу та державну підтримку, потужну науково-технічну базу, а також зацікавленість вітчизняних та міжнародних інвесторів

У процесі широкомасштабного впровадження вітрової та сонячної енергетики постає проблема створення додаткових регулювальних потужностей для забезпечення стабільного

енергоживлення в періоди відсутності енергії з відновлюваних джерел. У деяких випадках така необхідність є цілком виправданою, однак сьогодні існує ціла низка технічних засобів та методів вирішення цієї проблеми. До них належать заходи з передбачення енергетичного балансу системи (зокрема короткотермінового прогнозування), врахування регіональних кліматичних особливостей, «розумного» регулювання енергопотоків та керування попитом.

Цьому сприяє запровадження розподіленої генерації як ефективний шлях переходу від централізованого енергопостачання до стійкішої енергосистеми, що опирається на місцеві ресурси та відновлювані джерела енергії. В Україні такий перехід набуває особливої ваги в силу як економічних, так і інших (соціальних, екологічних, політичних) обставин, особливо зважаючи на потребу в стійкості та безпеці енергетики. Розподіленою генерацією вважається система, що виробляє та розподіляє електричну енергію споживачам, включно з генерувальними установками та засобами зберігання енергії, системами автоматики, електричними мережами та системою обліку. Врахування особливостей відновлюваної енергетики передбачає комбіноване використання різних видів ВДЕ.

Пріоритетним є використання комбінованої енергосистеми. Комплексне використання означає використання кількох джерел енергії, всіх одночасно чи в певних комбінаціях.

Використання відновлюваних джерел енергії є одним з основних критеріїв енергетичної безпеки в усьому світі. Це пов'язано з виснаженням запасів викопного палива, швидким зростанням цін на енергоносії, а також невизначеністю щодо стабільності поставок і надійності закупівель. Більше того, негативний вплив на навколишнє середовище призводить до серйозних наслідків, які більш очевидно стосуються суспільства.

Використання відновлюваних джерел енергії значно збільшує існуючі енергетичні потужності, що забезпечує безпеку та покращує соціально-економічну ситуацію.

Енергосховища можуть бути використані для вирішення проблем балансування потужності в комбінованих енергетичних системах. Способи вітрогенерації, особливо сонячних електростанцій, характеризуються значними градієнтами потужності струму, в яких зміни можуть відбутися протягом декількох хвилин. Такі ж зміни відбуваються з навантаженням. Амплітуда змін залежить від кількості окремих споживачів, що входять до складу місцевої енергосистеми, та їх режимів роботи. Тому при виборі систем зберігання енергії необхідно враховувати такі фактори, як нерівномірне генерування і споживання, кількість можливого перевищення енергії, швидкість зміни ємності, відповідна швидкість роботи акумуляторів. Фактичні показники мінливості балансу залежать від складу потужності та погодних умов (це стосується енергії вітру та сонця; ці джерела часто поєднуються як VRE — змінна відновлювана енергія).

Гібридні системи можуть бути життєздатною альтернативою електричним мережам або традиційним паливом для віддалених і сільських районів по всьому світу. Найкращі результати були продемонстровані системами з використанням декількох джерел енергії (сонце, вітер, централізована мережа), але важливо враховувати як місцеві кліматичні умови, так і особливості споживання енергії.

Загалом, у HRES можна використовувати різноманітні джерела енергії, але найбільш популярними є джерела вітру та сонця. Ці джерела є найбільш привабливими для дослідників, оскільки така енергія легко доступна. Це особливо важливо для автономних енергетичних систем, важливим елементом яких є пристрій зберігання енергії. Системи накопичення повинні

відповідати режиму роботи енергосистеми. Вимоги до кількості та часу зберігання енергії є найбільш поширеними.

Отже конкретний варіант побудови енергосистеми включає в себе встановлену потужність ВДЕ, енергетичні характеристики вітрових або сонячних установок, типові погодні умови (середні значення і можливі відхилення), параметри зберігання, прийняті обмеження). Використання відновлюваних джерел енергії є одним з основних критеріїв енергетичної безпеки в усьому світі.

Список використаних джерел

1. Strategic planning for the development of the hydrogen economy in the context of Ukraine's energy transition // Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology. 2024. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-6>
2. Miroshnyk V., Shymaniuk P., Sychova V., Loskutov S. Short-term forecasting of imbalances in the IPS of Ukraine // Studies in Systems, Decision and Control. Cham : Springer, 2024. Vol. 512. P. 89–109. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3031-44772-3_5
3. Lysenko O., Kuznietsov M. et al. Modeling hybrid power system with intermediate energy storage // Energies. 2023. Vol. 16, No. 3. Art. 1461. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16031461>
4. Bianchi F., De Leo G., Pero M. Hydrogen mobility: activating the transition towards the future // (вихідні дані не повністю встановлені). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11573-025-01>
5. Features of the introduction of environmentally friendly technologies in the energy sector of Ukraine // (назва журналу не зазначена). 2020. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.3\(62\).8-15](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.3(62).8-15)
6. Kucher O., Hutsol T., Glowacki S., Andreitseva I., Dibrova A., Muzychenko A. et al. Energy potential of biogas production in Ukraine // Energies. 2022. Vol. 15, No. 5. Art. 1710.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЛІ ЯК ІНСТРУМЕНТ МОНІТОРИНГУ АГРОБІОРИЗНОМАНІТТЯ ЗГІДНО З ЗАКОНОДАВСТВОМ ЄС ПРО ВІДНОВЛЕННЯ ПРИРОДИ: НАСЛІДКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

EARTH OBSERVATION AS AN INSTRUMENT FOR AGRO- BIODIVERSITY MONITORING UNDER THE EU NATURE RESTORATION LAW: IMPLICATIONS FOR UKRAINE

*Semak Uliana, PhD, Lecturer at the Department of Biology and
Ecology, Vasyl Stefanyk Carpathian National University*

Abstract. The study conducts a comparative analysis of Ukrainian and EU legislative frameworks for biodiversity monitoring in agricultural landscapes and proposes an Earth observation-based methodological framework aligned with Essential Biodiversity Variables (EBV) and the monitoring requirements of Regulation (EU) 2024/1991 on nature restoration. The work targets the practical gap between existing Ukrainian ecological legislation and the spatially explicit, indicator-driven monitoring systems required under EU accession obligations.

Agricultural landscapes account for over 70% of Ukraine's territory and harbour significant biodiversity, including numerous farmland bird species listed in Annex I of the Birds Directive (2009/147/EC) and semi-natural habitat types protected under the Habitats Directive (92/43/EEC). The EU Nature Restoration Law (NRL; Regulation (EU) 2024/1991) establishes legally binding restoration targets for agricultural ecosystems, including minimum thresholds for farmland bird population indices, pollinator diversity, and the proportion of land occupied by high-diversity landscape features, all of which require continuous and spatially explicit

monitoring. The current biodiversity monitoring system in Ukraine, based primarily on periodic species inventories and cadastral records under the Laws “On Fauna” (No. 2894-III, 2001) and “On Flora” (No. 591-XIV, 1999), provides neither the spatial coverage nor the indicator compatibility required to meet these obligations.

Legislative gap analysis. Comparative legal analysis identifies three structural gaps. First, Ukrainian legislation does not establish ecosystem-level or landscape-scale monitoring as a mandatory function – monitoring obligations are species-centred and apply primarily within protected areas, leaving agricultural ecosystems largely unmonitored at the national scale. Second, no nationally standardised biodiversity indicators compatible with the EU Biodiversity Information System for Europe (BISE) or the EBV framework exist in Ukrainian regulatory documents. Third, Ukraine lacks a mandatory multi-year reporting cycle for biodiversity status in agricultural landscapes, unlike the reporting obligations established under EU environmental directives. These gaps are institutional rather than technical in nature: addressing them requires targeted legislative amendments rather than methodological improvements alone.

Methodological framework. The developed three-tier EO monitoring framework is structured around the EBV hierarchy and the indicator requirements of the Nature Restoration Law (NRL). At the landscape level, multi-temporal Sentinel-1 (C-band SAR) and Sentinel-2 (multispectral, 10 m resolution) imagery enables the automated mapping of ecologically critical landscape elements, including hedgerows, shelterbelts, riparian buffer strips, wet meadows, and semi-natural grasslands, which directly correspond to the NRL targets for “high-diversity landscape features.” At the habitat level, spectral heterogeneity indices derived from satellite time series, particularly Rao’s Q entropy and NDVI temporal variability, serve as spatially continuous proxies for plant community diversity, consistent

with the EBV classes “species populations” and “ecosystem structure.” At the species level, EO-derived environmental variables, including land-cover heterogeneity, phenological metrics, and edge-density indices, are used as predictors in spatially explicit occupancy and abundance models for farmland birds and pollinators, calibrated using standardised point-count and transect survey protocols. All primary imagery is available through the open-access Copernicus programme, making the framework replicable at the national scale without additional infrastructure costs.

Constraints and boundary conditions. Two main factors currently limit the application of the framework in Ukraine. First, large agricultural fields, which remain a legacy of previous land-use systems, reduce the ability of 10–20 m satellite imagery to detect narrow habitat elements such as hedgerows and field margins. Therefore, higher-resolution imagery (e.g., PlanetScope, 3–5 m) is recommended for priority monitoring areas. Second, the war has disrupted regular biodiversity field surveys in eastern and southern Ukraine since 2022, creating gaps in species occurrence data needed for model calibration. Under such conditions, EO-based monitoring does not replace field surveys but instead functions as a spatially continuous baseline capable of maintaining monitoring continuity in areas where ground access remains restricted – an argument in favour of, rather than against, its integration into the national biodiversity monitoring system.

Conclusions. The comparative analysis identifies three main legislative priorities for harmonisation: (1) amendments to the Laws “On Fauna” and “On Flora” to introduce mandatory ecosystem-level agro-biodiversity monitoring with defined spatial coverage and regular reporting intervals; (2) adoption of a national set of EBV-compatible biodiversity indicators for agricultural landscapes through a ministerial decree; and (3) formal integration of Copernicus-based EO

monitoring into the State Environmental Monitoring System as a standardised data source. The proposed EO framework offers a technically feasible and methodologically consistent approach for the gradual implementation of these measures, starting with pilot regions and progressively expanding to national coverage, without requiring complete legislative reform before operational monitoring can begin.

References

1. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. Official Journal of the European Union. 2024. L 243. P. 1–46. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401991.
2. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal of the European Communities. 1992. L 206. P. 7–50.
3. Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds. Official Journal of the European Union. 2010. L 20. P. 7–25.
4. European Commission. EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing Nature Back into Our Lives. COM(2020) 380 final. Brussels, 2020. 24 p.
5. Закон України «Про тваринний світ» від 13.12.2001 № 2894-III. Відомості Верховної Ради України. 2002. № 14. Ст. 97.
6. Закон України «Про рослинний світ» від 09.04.1999 № 591-XIV. Відомості Верховної Ради України. 1999. № 22–23. Ст. 198.
7. Pereira H. M., Ferrier S., Walters M., Geller G. N. et al. Essential biodiversity variables. Science. 2013. Vol. 339, № 6117. P. 277–278. DOI: 10.1126/science.1229931

8. Rocchini D., Marcantonio M., Ricotta C. Measuring Rao's Q diversity index from remote sensing: An open source solution. *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 72. P. 234–238. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.07.039
9. Skidmore A. K., Pettorelli N., Coops N. C. et al. Priority list of biodiversity metrics to observe from space. *Nature Ecology & Evolution*. 2021. Vol. 5, № 7. P. 896–906. DOI: 10.1038/s41559-021-01451-x
10. Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V. C. et al. Cross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians. *Ecosystems*. 2008. Vol. 11. P. 614–628. DOI: 10.1007/s10021-008-9146-z

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ПРАВОВІ ПІДСТАВИ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

ENVIRONMENTAL ASPECTS AND LEGAL BASIS OF THE SECONDARY USE OF TECHNOGENIC RAW MATERIALS

*Довгалюк І. Г., директор ДУ «НІОХІМ», к.н. з держ. упр.,
Хацевич О. М., вчений секретар ДУ «НІОХІМ», к.т.н.,
Бурак А.В., провідний інженер ДУ «НІОХІМ»
ДУ «НІОХІМ» - Державна установа «Державний науково-
дослідний і проектний інститут основної хімії»*

Анотація. У роботі розглянуто використання техногенної сировини як важливого елемента циркулярної економіки та зменшення екологічного навантаження. Проаналізовано екологічні та правові аспекти використання техногенних відходів, зокрема соляних відвалів Прикарпатського регіону. Показано, що галітові відвали та концентровані сольові розчини містять цінні компоненти й можуть розглядатися як техногенні родовища та джерело вторинної сировини. Визначено основні проблеми їх використання, серед яких неврегульований правовий статус, відсутність механізмів переходу від «відходів» до «вторинної сировини» та недостатні економічні стимули. Окрему увагу приділено екологічним ризикам міграції солей у ґрунтові та поверхневі води. Проаналізовано підходи ЄС до управління відходами та процес гармонізації українського законодавства до принципів циркулярної економіки. Обґрунтовано необхідність комплексного управління техногенною сировиною із застосуванням сучасних технологій переробки та вдосконалення нормативно-правової бази.

Ключові слова: техногенна сировина, циркулярна економіка, соляні відвали, техногенні родовища, управління відходами, екологічні ризики, переробка відходів, гармонізація законодавства, сталий розвиток.

Abstract. The paper examines the use of technogenic raw materials as an important element of the circular economy and a means of reducing environmental impact. The environmental and legal aspects of the use of technogenic waste, particularly salt dumps in the Carpathian region, are analyzed. It is shown that halite dumps and concentrated salt solutions contain valuable components and can be considered technogenic deposits and sources of secondary raw materials. The main challenges related to their utilization are identified, including the unclear legal status, the lack of mechanisms for the transition from “waste” to “secondary raw materials,” and insufficient economic incentives. Special attention is paid to the environmental risks associated with salt migration into groundwater and surface waters. EU approaches to waste management and the process of harmonizing Ukrainian legislation with the principles of the circular economy are analyzed. The necessity of comprehensive management of technogenic raw materials through the application of modern processing technologies and improvement of the regulatory framework is substantiated.

Keywords: technogenic raw materials, circular economy, salt dumps, technogenic deposits, waste management, environmental risks, waste processing, harmonisation of legislation, sustainable development.

Зростання обсягів промислових відходів, погіршення екологічної ситуації та виснаження природних ресурсів зумовлюють необхідність переходу до моделей циркулярної

економіки. Техногенна сировина, яка утворюється внаслідок діяльності гірничодобувних, хімічних та металургійних виробництв, розглядається як важливий резерв вторинних матеріальних ресурсів.

До техногенної сировини відносяться відвали, хвостосховища, шлаки, попіл та інші відходи, що можуть бути використані як вторинні ресурси після відповідної переробки. В Україні правове регулювання у цій сфері базується на положеннях природоохоронного та господарського законодавства, зокрема законів про відходи, надра, охорону довкілля. Водночас існує фрагментарність нормативної бази та відсутність чітких механізмів стимулювання вторичного використання ресурсів. На даний час дуже важливим завданням є узгодження національного законодавства з підходами Європейського Союзу у сфері управління відходами та впровадження принципів циркулярної економіки. Екологічні аспекти використання техногенної сировини полягають у зменшенні навантаження на довкілля, скороченні площ, зайнятих відвалами, зниженні ризиків забруднення ґрунтів і вод, а також зменшенні потреби у первинному видобутку ресурсів. Водночас, при переробці техногенних відходів можуть вивільнятися шкідливі речовини, що потребує впровадження сучасних технологій очищення та контролю. Тому необхідний комплексний підхід до управління техногенною сировиною як складовою політики сталого розвитку, що дозволив б поєднати правові, екологічні, економічні інструменти.

У Прикарпатському регіоні до таких техногенних багатотонажних відходів відносяться соляні відходи, зокрема галітові відвали, розкривна порода, концентровані соляні розчини, які можна вважати техногенними ресурсами. Сучасні дослідження [1] підтверджують, що техногенні соляні відходи,

сформовані внаслідок діяльності гірничо-хімічної промисловості, містять значні обсяги цінних компонентів, насамперед NaCl , K_2SO_4 , MgSO_4 , MgCl_2 , які можуть стати сировиною. За даними дослідження [2], обсяги накопичених відходів, зокрема сольових, можуть досягати десятків мільйонів кубічних метрів щорічно, що є співставним з природними родовищами.

Водночас роботи з оцінки життєвого циклу переробки солей [3] демонструють, що повторне використання таких матеріалів є екологічно доцільним і ресурсоефективним. Це дозволяє розглядати соляні відвали як техногенні родовища, придатні для промислового освоєння в межах циркулярної економіки. Відомі дослідження [4] щодо використання гірничодобувних відходів як альтернативи у технології бетону, для сприяння чистішим практикам у будівництві та циркулярній економіці в гірничодобувній промисловості. Такі відходи, враховуючи їхні фізичні характеристики та хімічний склад, можна використати як компоненти в бетоні, замість піску, наповнювачів та в'язучих речовин. Зокрема в дослідженнях [5] обґрунтовується необхідність залучення техногенних родовищ (позабалансової руди, відходів) до економічного обігу гірничодобувних підприємств за умови виснаження природних ресурсів, що можна розглядати як один з інструментів циркулярної економіки. Мільйони гірничих відвалів пропонується розробляти як техногенні ресурси для перероблених матеріалів, продовжуючи прибуткову діяльність шахти. Метод аналізу ієрархій використовується для отримання оптимального порядку розробки гірничих відвалів для досягнення бажаного економічного, соціального та екологічного ефекту.

При цьому важливо відзначити, що основна проблема — правовий статус та відсутність механізму використання.

Незважаючи на ресурсний потенціал, соляні відвали у більшості випадків юридично класифікуються як відходи, що суттєво обмежує можливості їх господарського використання. Як показують дослідження у сфері управління мінеральними відходами найбільшою перешкодою є відсутність чітких нормативних критеріїв переходу від статусу «відходу» до «вторинної сировини». Крім того, відсутні ефективні економічні стимули та регуляторні механізми залучення техногенних ресурсів у виробничі цикли. Це призводить до ситуації, коли потенційно цінна сировина фактично виключена з економічного обігу, що суперечить принципам циркулярної економіки.

Одним із найбільш критичних екологічних ризиків соляних відвалів є розчинення галіту та інших розчинних солей під впливом атмосферних опадів і міграція іонів у підземні та поверхневі води. Дослідження [6] підтверджують, що це призводить до засолення ґрунтів, погіршення якості водних ресурсів, деградації екосистем. Але в цій роботі показана можливість зменшення негативного впливу шляхом перетворення сольового шлаку на цеоліт, що є сталим процесом та має значний внесок у циркулярну економіку.

Встановлено [7], що недостатньо контрольоване складування соляних відходів сприяє інфільтрації високомінералізованих розчинів у геологічне середовище. Це створює довготермінові екологічні проблеми, особливо для територій із розвиненою гідрогеологічною мережею. Отже, соляні відвали доцільно розглядати як техногенні родовища із значним ресурсним потенціалом, ефективне використання яких стримується недосконалістю правового регулювання. Водночас, відсутність системного управління такими об'єктами посилює екологічні проблеми, що пов'язані з міграцією солей у довкіллі. Як показують результати досліджень [8] роботи опріснювальних

установок концентровані сольові розчини можна перетворювати на ресурсний потенціал для комерційної продукції, що дозволяє зменшити викиди в навколишнє середовище та генерувати додаткові доходи.

Політика ЄС щодо відходів є ключовою для амбіцій Європи щодо циркулярної економіки, сприяючи їй шляхом вилучення якомога більшої кількості високоякісних ресурсів з відходів. Мета полягає у сприянні зростанню шляхом переходу до сучасної, ресурсоефективної та конкурентоспроможної економіки. Рамкова директива про відходи – це правова база ЄС для обробки та управління відходами в ЄС. Вона запроваджує порядок пріоритетності управління відходами, так звану «ієрархію відходів». Певні категорії відходів потребують специфічних підходів для використання. Тому, окрім загальної правової бази, ЄС має численні закони щодо різних видів відходів. **Європейське законодавство, зокрема** Основна рамкова директива Директива 2008/98/ЄС про відходи, визначає поняття відходів, вторинної сировини та встановлює ієрархію щодо запобігання, повторного використання, переробки, утилізації відходів. До спеціалізованих директив відноситься Директива 2006/21/ЄС про відходи видобувної промисловості, що регулює управління хвостосховищами, відвалами, техногенними об'єктами та визначає вимоги до їх експлуатації та рекультивації, а також Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди, яка встановлює екологічні стандарти для підприємств переробки відходів.

У січні 2025 року уряд України погодив Національний план управління відходами до 2033 року. Це дорожня карта, яку маємо використовувати для реформування системи управління відходами. Ухваленню документа значною мірою сприяло виконання українським урядом вимог Угоди про Асоціацію з

Європейським Союзом та The Ukraine Facility Plan. Ще у 2022 році Україна стала кандидатом на вступ в ЄС, а серед інших реформ сфера довкілля чи не найбільш пріоритетна. Зокрема, Закон України «Про управління відходами» № 2320-IX, який запроваджує нову систему управління відходами, гармонізовану з підходами ЄС. У 2025 році система поступово переходить від декларативного обліку до електронного контролю, а вимоги до бізнесу стали значно жорсткішими. Зміни сприяють гармонізації українські норми з європейськими стандартами, зокрема Директивою 2008/98/ЄС про відходи і Регламентом (ЄС) № 1013/2006 про транскордонне перевезення відходів. Україна і на даний час продовжує роботу над законодавством, щоб привести його у відповідність до принципів ЄС. Національна програма адаптації законодавства, затверджена урядом 1 квітня 2026 року, є комплексним інструментом узгодження української правової системи зі стандартами ЄС. У межах кластера 4 «Зелений порядок денний та сталий зв'язок» (Green Agenda & Sustainable Connectivity) визначено 252 цілі, значна частина яких стосується розділу 27 «Довкілля та зміна клімату». Серед них — імплементація Регламенту (ЄС) 2024/1157 про перевезення відходів, Регламенту (ЄС) 2023/1542 щодо батарей і відпрацьованих батарей, а також Директиви 2011/65/ЄС про обмеження використання небезпечних речовин в електричному та електронному обладнанні. Ключовий кластер 27.4 передбачає продовження адаптації законодавства України до acquis ЄС у сфері відходів із дотриманням ієрархії відходів та забезпеченням інвестицій у відповідну інфраструктуру. Україна взяла на себе зобов'язання розробляти програми запобігання утворенню відходів, оновлювати національні та регіональні плани управління відходами, розвивати економічні механізми управління відходами.

З своєї сторони Європейська комісія здійснюватиме постійний моніторинг прогресу України через таблиці відповідності законодавства, звіти, імплементаційні плани, моніторингові місії та щорічний Пакет розширення ЄС. У вересні 2026 року Україна повинна надати інформацію про стан імплементації нових регламентів ЄС у сфері відходів. Успішне впровадження реформи вимагатиме не лише ухвалення законів, а й якісної підготовки підзаконних актів, реалістичного планування та ефективної взаємодії між державою, бізнесом і громадами. Саме це визначатиме здатність України виконати євроінтеграційні зобов'язання та перейти до сучасної моделі управління відходами відповідно до стандартів ЄС. Міндовкілля спільно з Комітетом з питань екологічної політики та природокористування розроблено низку законопроектів, що перебувають на розгляді Верховної Ради України, або на доопрацюванні в Комітеті — це законопроекти: «Про управління відходами видобувної промисловості»; «Про упаковку та відходи упаковки»; «Про батареї та акумулятори»

Висновки. Ефективне використання техногенної сировини є одним із ключових напрямів зменшення екологічного навантаження та раціонального природокористування. Необхідними є вдосконалення законодавчої бази, створення економічних стимулів та впровадження інноваційних технологій переробки відходів. Важливо відмітити, що на даний час не визначений правовий статус «техногенних родовищ», відсутнє чітке визначення «техногенна сировина», що ускладнює швидкий перехід від «відходів» до «ресурсу» для техногенної сировини. А міжнародні підходи: принцип циркулярної економіки (Circular Economy); концепція “end-of-waste” (втрата статусу відходів); принцип “polluter pays” (забруднювач платить) — закріплені у постановах та правових актах - повинні стати основою нового

законодавства України щодо перероблення техногенної сировини та вирішення екологічних проблем.

Список використаних джерел

1. I. Dovhaliuk, Ya. Kuchera, O. Khatsevych, H. Kulyk1, A. Burak1, O. Derzhko Resource Potential and Impact on the Environment of Technological Facilities of the Kalush Industrial District. Chem. Technol., 2026, Vol. 20, No. 2.
2. Itay J Reznik, Ittai Gavrieli. Massive-Scale Dissolution, Conveyance, and Disposal of Dead Sea Potash Industry Halite Waste / Environmental Science Technology, 2023, 57, 8385-8395. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c01197>.
3. Xinyu Huang, Jia Shen, Soutnipapha Luangphon, Hao Wang, Haoqing Zhang, Yue Han, Xiuxiu Ruan, Comparison studies of various life cycle impact assessment methods for waste salt recycling, Desalination, Volume 631, 2026, 120216, ISSN 0011-9164, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2026.120216>.
4. El Machi, A.; El Berdai, Y.; Mabroum, S.; Safhi, A.e.M.; Taha, Y.; Benzaazoua, M.; Hakkou, R. Recycling of Mine Wastes in the Concrete Industry: A Review *Buildings* 2024, 14(6), 1508; <https://doi.org/10.3390/buildings14061508>.
5. Potravny, I.; Novoselov, A.; Novoselova, I.; Gassiy, V.; Nyamdorj, D. The Development of Technogenic Deposits as a Factor of Overcoming Resource Limitations and Ensuring Sustainability (Case of Erdenet Mining Corporation SOE in Mongolia). Sustainability 2023, 15, 15807. <https://doi.org/10.3390/su152215807>.
6. Padilla, I.; Romero, M.; López-Andrés, S.; López-Delgado, A. Sustainable Management of Salt Slag. Sustainability 2022, 14, 4887. <https://doi.org/10.3390/su14094887>.

7. Fetsiukh A., Bunio L., Patsula O., Terek O. Environmental problems caused by the development of the Precarpathian deposit of polymineral potassium ores in Stebnyk (Ukraine). *Studia Biologica*, 2018: 12(2); 157–166. <https://doi.org/10.30970/sbi.1202.537>.
8. Ojo, O.E.; Oludolapo, O.A. Innovative Recovery Methods for Metals and Salts from Rejected Brine and Advanced Extraction Processes—A Pathway to Commercial Viability and Sustainability in Seawater Reverse Osmosis Desalination. *Water* 2025, 17, 3141.

ГІС-ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ТЕРИТОРІЙ, ЗАБРУДНЕНИХ ВИБУХОВИМИ ПРЕДМЕТАМИ, В КОНТЕКСТІ ГАРМОНІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ТА УКРАЇНСЬКОЇ ПРАКТИКИ

GIS APPROACHES TO THE MONITORING AND ANALYSIS OF AREAS CONTAMINATED WITH EXPLOSIVE OBJECTS, IN THE CONTEXT OF HARMONISING EUROPEAN AND UKRAINIAN PRACTICES

*Гуцул Т.В., кандидат технічних наук., доцент, Чернівецький
національний університет імені Юрія Федьковича*

The current phase of mine action in Ukraine is characterised by a shift from fragmented field surveys to integrated geoinformation solutions that align with the European Union's approaches to spatial data management, environmental safety and crisis response. In this context, geographic information systems (GIS) are becoming a key tool for monitoring, risk assessment and decision-making support regarding areas contaminated with explosive ordnance (EO).

Keywords: GIS, geodata, geospatial analysis, modelling, mine action.

Незважаючи на відносно високий рівень безпеки в більшості європейських країн, проблема мінного забруднення досі залишається актуальною. У деяких частинах Франції Перша світова війна так і не закінчилася. Це *Zones rouges* – архіпелаг колишніх полів битв, настільки пошкоджених і забруднених, що через понад століття після закінчення війни вони лишаються непридатними для проживання і господарської діяльності. До 1919 р. Міністерство звільнених територій Франції розділило

постраждалі території на три зони (рис. 1) залежно від ступеня руйнування [1].

Найбільший вплив на мінну ситуацію в Європі здійснила Друга світова війна. Значні залишки боєприпасів і мін досі епізодично під час будівництва чи сільськогосподарських робіт виявляють у: Німеччині, Польщі, Франції, Італії, країнах Балтії. Найбільш проблемним регіоном сучасної Європи залишається Західні Балкани (Боснія і Герцеговина, Сербія, Хорватія, Косово). Тут мінні поля та нерозірвані боєприпаси залишаються наслідком конфліктів після розпаду Югославії. Особливістю є складний рельєф (гірські райони, ліси), що ускладнює розмінування.

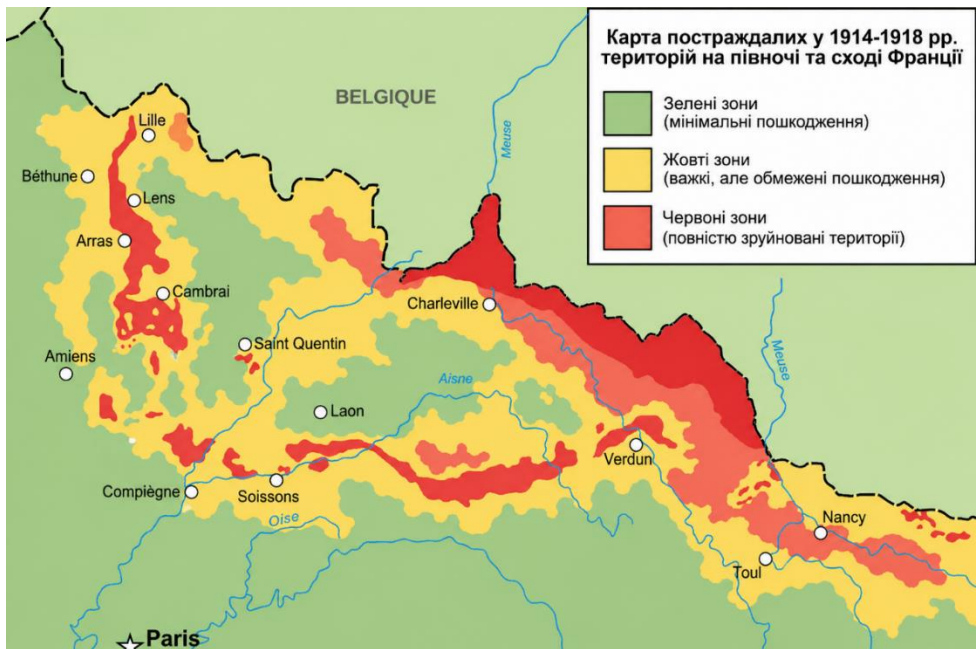


Рис. 1. Зонування поствоєнних територій Франції

Проблема мінного забруднення території України є однією

з наймасштабніших у світі та має довготривалий характер через воєнні дії, що тривають з 2014 р. і різко посилюються після 2022 р. Значні площі сільськогосподарських земель, лісів і населених пунктів залишаються потенційно небезпечними через наявність мін та інших ВНП. Це створює серйозні ризики для життя населення, ускладнює відновлення інфраструктури та обмежує використання земель у господарській діяльності. Розмінування потребує значних ресурсів, часу та впровадження сучасних технологій і міжнародної підтримки.

Несправедлива ситуація та потреба самозахисту обумовила 15 липня 2025 р. вихід України із Оттавської конвенції (Конвенції про заборону застосування, накопичення запасів, виробництва і передачі протипіхотних мін та про їхнє знищення). Напружена ситуація та обґрунтовані побоювання щодо національної безпеки призвели до подібних заяв ще п'ятох європейських країн – Естонії, Латвії, Литви (27 грудня 2025 р.), Фінляндії (10 січня 2026 р.) та Польщі (20 лютого 2026 р.), а отже відбувається активне створення нових мінних полів.

Геоінформаційні системи (ГІС) набули широкого використання на всіх етапах протимінної діяльності (ПМД) [2] та забезпечують інтеграцію різнорідних джерел просторових даних [3]. Як показує сучасна практика, такі системи дозволяють: формувати цифрові карти мінної небезпеки; класифікувати території за рівнем забруднення; виконувати просторово-статистичний аналіз ризиків; здійснювати моніторинг динаміки очищення територій. Особливістю українського підходу є створення державних геоінформаційних реєстрів забруднених територій як частини національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) [4]. Важливим напрямом є прогнозне оцінювання тривалості розмінування, яке базується на аналізі ступеня забруднення, типів територій, інтенсивності

бойових дій та наявних ресурсів розмінування. Такі моделі дозволяють визначати пріоритети очищення територій і планувати відновлення земельного фонду у середньо- та довгостроковій перспективі.

Європейські та українські практики сходяться у використанні технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та безпілотних літальних апаратів для первинного обстеження великих площ. Дані БПЛА дозволяють формувати ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу та виявляти аномалії, пов'язані з вибуховими подіями [5,6]. Подальший розвиток пов'язаний із застосуванням алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ), які: автоматизують виявлення потенційно небезпечних ділянок; класифікують типи пошкоджень; підвищують точність ризик-моделювання [7].

Одним із ключових напрямів є створення моделей пріоритизації розмінування на основі багатокритеріального аналізу [8]. У таких моделях враховуються: щільність населення; тип землекористування; екологічна чутливість територій; дані про бойові дії та історію забруднення [9]. Цей підхід узгоджується з європейською практикою *risk-based land management*, де пріоритет надається не лише технічній очистці, а й соціально-економічній доцільності відновлення територій.

Гармонізація українських та європейських підходів відбувається за кількома напрямками:

- ✓ стандартизація геоданих (впровадження сумісних форматів геопросторових даних відповідно до стандартів IMAS та INSPIRE);
- ✓ уніфікація класифікації ризиків ВМП;
- ✓ інтеграція з європейськими платформами просторових даних;
- ✓ використання спільних аналітичних моделей оцінки безпеки.

Українська система поступово переходить до моделі, де ГІС виступає не лише інструментом картографування, а ядром управління ПМД.

Подальший розвиток геоінформаційних підходів у сфері ВНП пов'язаний із:

побудовою національних цифрових моделей «двійників» забруднених територій;

впровадженням ІІІ-орієнтованих систем прогнозування ризиків;

розширенням використання супутникових даних Copernicus;

інтеграцією з європейськими системами цивільного захисту та екологічного моніторингу.

Висновки. ГІС є ключовим інструментом сучасного моніторингу та аналізу територій, забруднених ВНП. Вони забезпечують інтеграцію різнорідних даних, підтримують прийняття рішень та дозволяють підвищити ефективність гуманітарного розмінування.

Гармонізація європейських та українських практик у цій сфері є критично важливою для забезпечення сумісності даних, підвищення якості оцінювання ризиків та інтеграції України в європейський простір безпеки. Подальший розвиток ГІС має базуватися на мультисенсорній інтеграції, використанні ІІІ та створенні єдиних цифрових платформ моніторингу.

Список використаних джерел

1. Гуцул Т. В., Ткач В. О., Хобзей М. М. Класифікація та особливості методів гуманітарного розмінування територій на сучасному етапі : монографія / за ред. Т. В. Гуцула. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2024. 240 с.
2. Гуцул Т. Географічні інформаційні системи в гуманітарному розмінуванні територій: історія, розвиток, сучасність. *Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2025. № 3(63). С. 85–

92. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.63.85-92>
3. Гуцул Т. Геопросторові дані в гуманітарному розмінуванні територій: значення, класифікація та можливість застосування на різних етапах. *Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2026. № 1(65). С. 61–71. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2026.65.61-71>
4. Кабінет Міністрів України. Постанова від 2024 р. № 740 «Деякі питання щодо створення, забезпечення функціонування та ведення реєстру територій, забруднених/імовірно забруднених вибухонебезпечними предметами» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/740-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 25.04.2026).
5. Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case / T. Hutsul et al. *Heliyon*. 2024. P. e29142. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
6. Гуцул Т. Дистанційне зондування – оптимальна технологія збору геопросторових даних в гуманітарному розмінуванні. *Комунальне господарство міст. Серія «Інформаційні технології та інженерія»*. 2026. С. 216–231. URL: <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2026-1-196-216-231>
7. Гуцул Т. Сучасні тенденції штучного інтелекту в гуманітарному розмінуванні територій та його інтеграції в геоінформаційні системи. *Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2025. № 4(64). С. 67–74. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.64.67-74>
8. Сучасні підходи до оцінювання черговості гуманітарного розмінування територій / Т. Гуцул та ін. *Технічні науки та технології*. 2023. № 1(31). С. 146–157. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1\(31\)-146-157](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1(31)-146-157)
9. Економічна ефективність і пріоритетність розмінування територій: світовий досвід / Т. Гуцул та ін. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2023. Т. 8, № 2. С. 308–313. URL: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-2-44>

ВПЛИВ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ В УКРАЇНІ НА КЛІМАТ

CLIMATE DAMAGE CAUSED BY RUSSIA'S WAR IN UKRAINE

*Федорченко С. В., к.т.н., доцент,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника*

Анотація. Повномасштабна війна Російської Федерації проти України суттєво посилила вплив глобальної потрійної екологічної кризи, пов'язаної із забрудненням довкілля, зміною клімату та втратою біорізноманіття, створивши масштабні екологічні, соціальні та економічні наслідки. У роботі узагальнено сучасні підходи до оцінювання кліматичних наслідків війни, проаналізовано основні джерела воєнно-обумовлених викидів парникових газів та розглянуто результати оцінювань Ініціативи з обліку викидів парникових газів внаслідок війни (IGGAW).

Abstract. Russia's full-scale invasion of Ukraine has significantly intensified the impacts of the global triple environmental crisis associated with environmental pollution, climate change, and biodiversity loss, creating profound environmental, social, and economic consequences. This study summarizes current approaches to assessing climate impacts of war, analyzes the main sources of war-related greenhouse gas emissions, and reviews the findings of the Initiative on Greenhouse Gas Accounting of War (IGGAW).

Визнана всесвітня потрійна загроза існуванню людей на планеті – зростання забруднення довкілля, навантаження на клімат і його негативні зміни і втрати біорізноманіття – трагічно ускладнюється в Україні бойові діями у війні з Росією; манера російських атак має руйнівний вплив у всіх трьох сферах.

Вторгнення росії в Україну стало людською трагедією з незліченними втратами життів і здоров'я, мільйонами переміщених осіб, спричинило гуманітарну кризу, і кінця воєнних дій не видно. Війна пошкодила та зруйнувала цивільну інфраструктуру та інші важливі громадські об'єкти, підприємства та дороги, позбавила громадян необхідних ресурсів – води, електроенергії та медичного обслуговування.

Ця війна впливає і на клімат планети через викиди значних обсягів вуглекислого газу та інших парникових газів (ПГ) в атмосферу, окрім забруднення об'єктів довкілля. Значні викиди ПГ є прямим наслідком війни. Іншими словами, цих викидів не було б, якби Російська Федерація не вторглася в Україну.

Тоді як світ бореться за суттєве скорочення викидів парникових газів, щоб обмежити зростання середньої температури на планеті в межах 1,5°C, додаткові викиди вуглекислого газу та інших ПГ через війну ще більше ускладнюють глобальні спроби зупинити кліматичну кризу.

У березні 2022 року була створена Ініціатива з обліку викидів парникових газів внаслідок війни IGGAW (ай-джі-джі-ей-даблю) що є групою експертів з вуглецевих викидів. Ініціатива підготувала п'ять послідовних оцінювань війни в Україні, а також долучилася до інших проєктів, наприклад щодо викидів ПГ від конфлікту в Газі. Останнім часом вона фокусується на впливі зростання військових витрат на військові викиди. Ініціатива співпрацює з Міністерством економіки, довкілля та сільського господарства України, але проводить оцінювання самостійно і не отримує жодних вказівок від Міністерства чи будь-яких інших організацій.

Оскільки війна триває, викиди ПГ продовжують зростати. Для зручності розрахунків усі парникові гази (ПГ) переводять у так званий “еквівалент CO₂”, тому часто усі парникові гази

називають спрощено “вуглець”. Згідно з останнім п’ятим звітом, викиди ПГ, пов’язані з понад 3-ма роками війни, підвищились до 237 млн тонн вуглекислого газу CO₂ або так званого конфліктного вуглецю CO₂. Такий обсяг еквівалентний річним викидам Австрії, Угорщини, Чеської Республіки та Словаччини разом.

Асоціація експертів з обліку вуглецю IGGAW у 2024 розробила посібник для послідовної і прозорої оцінки викидів ПГ, пов’язаних із конфліктами. Використовуючи новітню методологію, дослідники визначили вартість кожної тонни викиду вуглецю. У нещодавньому дослідженні, опубліковане в журналі «Nature», середній показник соціальної вартості за тонну викинутого CO₂ є 185 дол. США. З урахуванням цього кліматична шкода, спричинена цією війною, сягає понад 43 млрд дол. США. За ці викиди та завдану ними шкоду клімату планети російську федерацію треба притягнути до відповідальності, оскільки без її акту агресії цих викидів ПГ не було б.

У перші місяці війни більшість викидів зумовлювалась масштабним руйнуванням цивільної інфраструктури, що надалі потребуватиме значних зусиль для її післявоєнної відбудови. Нині, після чотирьох років війни, найбільшу частку викидів спричиняють разом бойові дії, ландшафтні пожежі та пошкодження енергетичної інфраструктури.

Тоді як у попередніх оцінюваннях викиди від відбудови мали найбільшу частку, у цьому оцінюванні викиди від бойових дій перевищили викиди від відбудови і зайняли першу сходинку за часткою викидів серед усіх категорій впливу.

Військові дії спричиняють значні обсяги викидів ПГ через величезне споживання палива та попит на вуглецевоемні матеріали та техніку. Оскільки бойові дії не вщухають, вони стали найбільшим джерелом викидів ПГ, суттєво додавши до їх загального обсягу в 81,7 млн тонн CO₂ екв. за три роки війни.

Викопне паливо, яке використовується танками та винищувачами, що споживають величезні обсяги дизельного палива та гасу, спричиняє основну частку викидів від бойових дій. Застосування дронів призвело до зменшення використання боєприпасів, водночас підвищивши рівень знищення військової техніки. Застосування дронів зробило використання боєприпасів ефективнішим, і, відповідно, на третій рік війни боєприпасів було використано менше. При цьому дрони підвищили втрати військової техніки і викиди від її виробництва зросли порівняно з другим роком війни, компенсуючи скорочення викидів від використання боєприпасів.

Військові удари спричинили масштабні лісові пожежі, що додало 22,9 мільйонів тонн CO₂ до загального обсягу викидів і призвело до нового загального показника в 46,7 млн тонн CO₂ екв. (чи 49,9 млн тонн CO₂ екв. включно з пожежами у будівлях); супутникові знімки надали інформацію про 27 тис. пожеж на площі майже 1 млн гектарів.

Більшість ландшафтних пожеж сталися на лінії фронту або поблизу неї чи в прикордонних районах. Оскільки пожежники не мають змоги працювати в зоні бойових дій, ці пожежі продовжують неконтрольовано поширюватися, збільшуючись за розмірами та інтенсивністю. 2024 рік став тривожним прикладом циклу руйнувань, коли зміна клімату та збройні конфлікти взаємно підсилюють одне одного, прискорюючи глобальне потепління.

Цілеспрямовані атаки на енергетичні об'єкти значною мірою сприяли викидам, за оцінками, 17,2 мільйона тонн CO₂ в результаті руйнування нафтобаз, нафтопереробних заводів і неконтрольованих витоків парникових газів, пошкодження газопроводів, інфраструктури транспортування та розподілу природного газу.

Комерційні літаки змінили маршрути через обмеження та проблеми з безпекою, які стосуються 18 млн км² неба над Росією та Україною. Перевізники змушені використовувати обхідні шляхи, тож час польотів збільшився, як і додаткові витрати на паливо та викиди ПГ. Перенаправлення між Європою та Азією призвело до додаткового використання палива, збільшивши викиди додатково на 20,3 мільйони тонн CO₂.

Складним завданням буде відновлення житла, громадських будівель та інфраструктури. Хоча найбільша шкода була завдана протягом перших тижнів конфлікту, міста на лінії фронту досі зазнають сильних пошкоджень. Оскільки Росія намагається послабити українську економіку, найбільшого зростання збитків на третьому році війни зазнала категорія «Промисловість і комунальні послуги». Відновлення зруйнованого вимагатиме величезних обсягів будівельних матеріалів, з яких вуглецевоемні бетон і сталь зумовлять понад 80% викидів від майбутньої відбудови. Загальні викиди: 64,2 млн тонн CO₂ екв.

Переміщення майже 7 мільйонів українців та росіян: загальні викиди, пов'язані з біженцями та ВПО, складають 4,2 млн. т CO₂.

З перспективи кліматичної шкоди, географічне положення викидів неважливе: кожна викинута будь-де у світі тонна ПГ однаково сприяє зміні клімату. Проте, щоб зрозуміти вплив війни на викиди по всьому світу, нижче наведено географічний розподіл воєнних викидів. Більшість цих викидів (64%) сталися або стануться в Україні, як на підконтрольних уряду України територіях, так і на окупованих. Однак значна частина (36%) викидів сталася або стануться в решті світу.
% та 10% відповідно (враховуючи допомогу Північної Кореї та Ірану).

Опосередковано, повномасштабне вторгнення підвищило

рівень небезпеки у світі й спричинило зростання військових витрат, зокрема на європейському континенті. Оскільки військові відповідають за 5,5% глобальних викидів, збільшення військових витрат неминуче призведе до збільшення військових викидів у всьому світі.

Деякі викиди відбулись протягом з років війни, тоді як інші ще стануться в майбутньому. Це стосується переважно викидів від відбудови, проте релевантно також для лісів, що гинуть після серйозних стихійних пожеж, і з часом або розкладаються, або рубаються на дрова. В обох випадках біомаса з часом потрапляє в атмосферу у вигляді CO₂.

Російську Федерацію слід змусити заплатити за це борг, який вона має перед Україною та країнами глобального півдня, які найбільше постраждають від шкоди клімату.

Звіти про вплив російської агресії на клімат розглядаються на найважливіших природоохоронних заходах планети – зокрема, перший звіт був представлений на Конференції ООН з питань зміни клімату в Шарм-ель-Шейху (Єгипет) 9 листопада 2022 року і охоплював перші сім місяців війни. Другий – охоплював перші 12 місяців війни, і був представлений на Кліматичній конференції РКЗК ООН (Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату) у Бонні, Німеччина, 7 червня 2023 року. Четверте оцінювання охопило 24 місяці від початку війни до 23 лютого 2024 року та було представлене на Конференції з відновлення України в Берліні 13 червня 2024 року.

Вторгнення росії в Україну яскраво показало невинуватеність ціни війни в сучасному світі та значні ризики масштабних техногенних катастроф для довкілля і мільйонів людей. Беручи до уваги останні світові події зрозуміло, на жаль, що глобальна мілітаризація далі буде тільки посилюватися. Це означає додаткове екологічне навантаження на всю планету та

зниження пріоритетності екологічних цілей для значної частки країн. А це серйозний виклик для всього людства в умовах існуючих кліматичних та низки інших глобальних проблем для біосфери.

Список використаних джерел

1. Де Клерк Л., Шлапак М. Вплив російської війни в Україні на клімат: 24 лютого 2022 – 23 лютого 2025. Повне оцінювання. Київ : Ініціатива з обліку викидів парникових газів внаслідок війни (IGGAW), 2025. 268 с.
2. Де Клерк Л., Шлапак М. Вплив російської війни в Україні на клімат: 24 лютого 2022 – 23 лютого 2024. Київ : Ініціатива з обліку викидів парникових газів внаслідок війни (IGGAW), 2024. 100 с.
3. Моніторинг якості повітря: європейський досвід (2-ге видання): навчальний посібник [текст] / Хацевич О.М., Микитин І.М., Федорченко С.В., Курта С.А. /Факультет природничих наук; Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника. – Івано-Франківськ, 2026. – 166 с.

ГАРМОНІЗАЦІЯ НОРМАТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ УКРАЇНИ ТА ЄС ЯК КЛЮЧОВИЙ АСПЕКТ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ПІДТРИМКИ СТАЛОГО ДОВКІЛЛЯ

*Мальований М.С., д.т.н., професор, Антонов М.Д.,
аспірант, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава
Чорновола Національного університету «Львівська
Політехніка»*

Abstract. Environmental monitoring is a fundamental tool of environmental management, providing a scientifically sound basis for strategic decision-making, environmental risk assessment and monitoring compliance with environmental regulations. However, to be indeed an effective instrument, eco-monitoring crucially demands having strong regulatory acts and laws that implement the best standards for environmental research.

Офіційне відкриття у червні 2024 року переговорів щодо вступу України до Європейського Союзу (ЄС) перевело питання гармонізації екологічного законодавства у практичну площину й перед Україною постало складне завдання: здійснити системний перехід від не най більш ефективних підходів статистичної фіксації викидів до європейської парадигми інтегрованого моніторингу, управління ризиками та превентивного екосистемного контролю.

Екологічна політика ЄС спирається на стратегічне планування. Актуальним концептуальним документом є 8-ма Програма дій з охорони довкілля (8th EAP), що діє до 2030 року

та імплементує цілі Європейського зеленого курсу (European Green Deal) [1]. Відповідно до цієї програми, екологічний моніторинг у ЄС розглядається як багатовимірний інструмент збору даних на основі принципу «Моніторинг — Звітність — Верифікація» (MRV) [2]. Законодавча база у сфері моніторингу структурується за ключовими компонентами довкілля:

-Моніторинг водних ресурсів: а) *водна рамкова директива 2000/60/ЄС (WFD)* - басейновий принцип управління [3] та інноваційний механізм Списку спостереження (Watch List), що оновлюється кожні два роки задля динамічного збору даних щодо нових забруднювачів для обґрунтування майбутніх регуляцій; б) *Директива щодо питної води 2020/2184* - обов'язковий моніторинг мікропластику [4];

-Моніторинг атмосферного повітря: *Директива (ЄС) 2024/2881* - вимагає чіткого зонування територій, встановлення верхніх і нижніх порогів оцінювання, цільових та граничних значень забруднювачів, а також сувора стандартизації розташування постів спостереження.

-Промислові викиди, клімат та нефінансова звітність: *Директива 2010/75/ЄС* про промислові викиди (IED) - вимагає безперервного автоматизованого моніторингу викидів на основі найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ / BAT). Кардинальною зміною 2024-2025 років стало впровадження Механізму транскордонного вуглецевого коригування (CBAM), який змушує імпортерів впроваджувати системи MRV, ідентичні європейським, для визначення вбудованих викидів у продукцію [5].

Протягом 2023–2025 років Україна здійснила безпрецедентну реформу законодавства у сфері моніторингу довкілля, спрямовану на подолання його фрагментованості та інтеграцію у європейський правовий простір.

Базовим документом став **Закон України від 20.03.2023 № 2973-IX** «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля...» у супроводі **Постанови КМУ від 13 червня 2024 р. № 684**, яка затвердила новий Порядок функціонування державної системи моніторингу довкілля (ДСМД), який вибудовується на чотирьох рівнях: **національний** (агрегація даних і прийняття стратегічних рішень); **регіональний** (управління мережами через регіональні центри моніторингу); **місцевий** (рівень територіальних громад); **об'єктовий** (автоматизований контроль на джерелах промислових викидів та скидів) [6].

Інформаційним ядром реформи стала Єдина екологічна платформа «**ЕкоСистема**» — загальнодержавна автоматизована інформаційно-аналітична система, яка акумулює дані всіх підсистем моніторингу [7]. Окрім цього, цифровізація екологічного контролю інтегрується з управлінням відбудовою через електронну екосистему **DREAM** (цифрова платформа відновлення України), що дозволяє інтегрувати екологічні стандарти у проекти реконструкції [8].

Незважаючи на значні успіхи, процес імплементації виявляє суттєві розбіжності між українськими та європейськими підходами:

-Щодо моніторингу якості повітря: ЄС використовує

«граничні значення», «цільові значення» та «пороги оповіщення», Україна використовує Гранично допустимі концентрації (ГДК) й жорсткіші нормативи для CO₂ та Pb, але **суттєво слабші або відсутні** для PM₁₀, миш'яку, кадмію, нікелю та короткочасних викидів SO₂, при цьому вміст діоксинів в Україні не регулюється [9].

-Щодо регулювання стану водних ресурсів: впроваджено басейновий принцип управління (РБМП), проте наявна критична невідповідність питної води гігієнічним стандартам (в Україні не відповідають нормам 15,7% за мікробіологією та 32,6% за санітарно-хімічними показниками, порівняно з <1% у Німеччині та Австрії [10].

-Щодо промислового забруднення: прийнято Закон про інтегроване запобігання (липень 2024), однак вторинне законодавство щодо заходів контролю викидів частково відсутнє. Інституційне впровадження схем EMAS затримується.

-Щодо загальних змін клімату: створено правову базу (Закон про MRV парникових газів). Проте система потребує глибинної модернізації для синхронізації з вимогами СВМ та уникнення економічних втрат для українських експортерів [11]

У висновку можна зазначити, що для досягнення повної взаємосумісності з європейським екологічним простором Україна має перейти від етапу законотворчості до етапу інфраструктурної та інституційної розбудови. Стратегічні перспективи та пропозиції включають:

Методологічну та метрологічну уніфікацію: а) відмова від застарілої системи ГДК на користь європейської концепції

цільових та граничних значень (зокрема для PM_{2.5}, PM₁₀) шляхом імплементації Директиви (ЄС) 2024/2881 через розробку відповідних методик відбору проб та локалізації постів спостереження; б) створення мережі національних референтних лабораторій, які регулярно проходять міжлабораторні порівняльні випробування під егідою Європейського об'єднаного дослідницького центру (JRC);

Інтеграцію новітніх показників (Списки спостереження): з огляду на оновлення EU Watch List у 2025 році вбачається доцільним розширення програми моніторингу поверхневих вод Держводагентства для фіксації концентрацій фіпронілу, залишків антибіотиків (офлоксацин, кліндаміцин) та специфічних забруднювачів від транспортної інфраструктури (6PPD-хінон);

Цифрову оптимізацію та інтеграцію даних: еволюція платформи «ЕкоСистема» з національного реєстру до інтелектуального хабу, що здійснює предиктивну аналітику й інтегрується до загальноєвропейської інформаційної мережі довкілля (Eionet), керованою Європейським агентством з довкілля (EEA), та системою супутникових спостережень Copernicus. Інтеграція екологічних індикаторів з платформою DREAM забезпечить врахування екологічних ризиків під час фінансування об'єктів відбудови;

Економічну адаптацію до кліматичної політики ЄС: Сектор промисловості потребує масштабної підтримки для впровадження об'єктових систем автоматизованого контролю. З огляду на запровадження механізму CBAM, українські

підприємства (особливо металургія та енергетика) повинні адаптувати свої системи розрахунку вбудованих викидів;

Фінансування та розбудова спроможностей: Оптимізація потребує колосальних капіталовкладень. Уряду слід фокусувати ресурси фонду Ukraine Facility (загальний обсяг 50 млрд євро на 2024-2027 рр.) не лише на інфраструктурі, але й на модернізації екологічних лабораторій та впровадженні природоорієнтованих рішень.

Список використаних джерел

1. EU Policies & Regulations. *WECOOP*. URL: <https://wecoop.eu/regional-knowledge-centre/eu-policies-regulations/>.
2. Management Plan 2024. *European Commission*. URL: https://commission.europa.eu/document/download/27bff4ae-01a7-427d-b1ca-1510b7e92401_en?filename=env_mp_2024.pdf.
3. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики.
4. Yurasov S. M., Terzeman V. V. Ensuring compliance with the Water Framework Directive when regulating pollutant discharges into wastewater. *Man and Environment. Issues of Neoecology*. 2025. № 44. С. 94–107.
5. How businesses can prepare for 2024 EU environmental Laws and Regulations. URL: <https://www.carbonclick.com/news-views/new-eu-environmental-laws-and-regulations-2024>.
6. Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/kp240684>.
7. Нова державна система моніторингу довкілля збиратиме та

узагальнюватиме екологічні дані з усієї України. *ЕкоСистема*. URL: <https://eco.gov.ua/news/nova-derzhavna-systema-monitorynhu-dovkillia-zbyratyme-ta-uzahalniuvatyme-ekolohichni-dani-z-usiiei-ukrainy>.

8. Екосистема DREAM 2025: як цифровізація перетворила хаос відбудови на стратегію. URL: <https://iaa.org.ua/articles/ekosystema-dream-2025-yak-czyfrovizacziya-peretvoryla-haos-vidbudovy-na-strategiyu/>.

9. The state of the European Union – Ukraine Association Agreement implementation on the air quality. *ResearchGate*. URL: https://www.researchgate.net/publication/361836116_The_state_of_the_European_Union_-_Ukraine_Association_Agreement_implementation_on_the_air_quality.

10. Report No. 3 - Water governance in EU countries and roadmap to EU integration. *Clearing House - Unicef*. URL: https://clearinghouse.unicef.org/sites/ch/files/ch/teams-UKR-PrgmEff-UCO%20KnowledgeUNICEF-Report%203%20of%203%20Water%20governance%20in%20EU%20countries%20and%20roadmap%20to%20EU%20integration_24-06-2024_final-2.0.pdf.

11. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів. *Мінекономіки*. URL: <https://me.gov.ua/LegislativeActs/Detail/12d71ddc-da62-45cd-afa4-e804836c5acb?lang=uk-UA>.

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ЯК СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ CO₂

ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN PRODUCTION AS A WAY TO REDUCE CO₂ EMISSIONS

*Якимечко М.М., провідний інженер, Державна установа
"Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії"*

Анотація. У роботі розглянуто можливості впровадження альтернативних джерел енергії у виробництві кухонної солі та калійних добрив як методів зниження викидів CO₂ в навколишнє середовище. Виконано розрахунки необхідної встановленої потужності енергогенеруючих об'єктів. Зроблено висновок про доцільність застосування альтернативних джерел енергії у виробництвах.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, альтернативна енергетика, сонячна енергія, вітрова енергія, біогаз.

Abstract. The study explores the potential for integrating alternative energy sources into the production of table salt and potash fertilizers as a strategy for mitigating CO₂ emissions into the environment. Calculations regarding the required installed capacity of power generation facilities were conducted. The study concludes that the implementation of alternative energy sources in these industrial sectors is highly feasible.

Keywords: renewable energy sources, alternative energy, solar energy, wind energy, biogas.

Основні матеріали дослідження. Питання викидів CO₂, енергоефективність та зниження залежності від викопних

енергоресурсів стає критично важливим для промисловості України, особливо для хімічної галузі.

Проаналізувавши дані щодо виробництва електроенергії з викопного палива, відновлюваних джерел енергії, атомної енергетики [1], стає зрозуміло, що в енергетичному балансі світу домінує викопне паливо, яке при переробці дає великі викиди CO_2 .

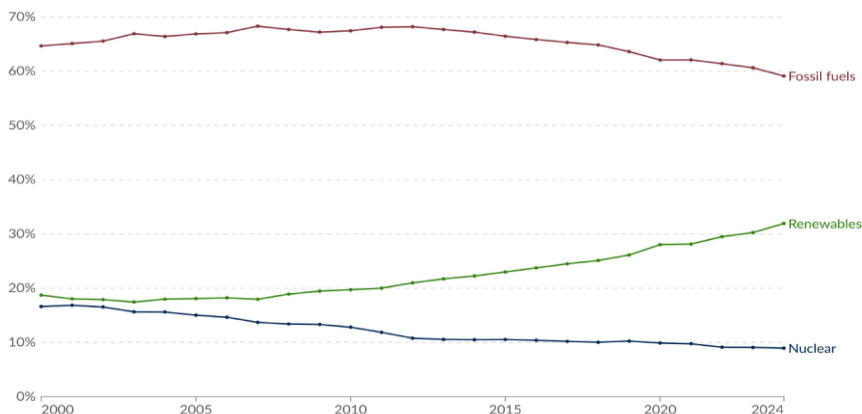


Рис.1 Частка виробництва електроенергії з викопного палива, відновлюваних джерел енергії та ядерної енергії у світі [1].

Хімічна промисловість, зокрема виробництво неорганічних солей та добрив, належить до найбільш енергоємних секторів. Частка енергетичних витрат у собівартості продукції може досягати 15–25%, а в деяких випадках перевищувати ці показники. Тому модернізація енергетичної складової підприємств є не лише економічним, а й екологічним фактором збереження як конкурентоспроможності, так і навколишнього середовища.

Мета та предмет дослідження. Метою дослідження є оцінка зменшення викидів CO_2 в навколишнє середовище через

використання альтернативних джерел енергії у виробництві кухонної солі (як прикладу енергоємного сольового виробництва) в умовах Західного регіону України.

Об'єкт дослідження – відновлювані та нетрадиційні джерела енергії, зокрема сонячна енергетика, вітрова енергетика та біогазові технології.

Предмет дослідження – доцільність та екологічність застосування ВДЕ для покриття енергетичних потреб сольового підприємства потужністю 100 000 т/рік, з зменшенням викидів CO₂, які утворюються при виробництві електроенергії з викопного палива.

Фінансово-економічний аналіз витрат виробництва кухонної солі показує, що ресурсні витрати займають більше половини у собівартості продукції. Водночас енергетичні витрати є ключовою складовою змінних операційних витрат і можуть перевищувати 25%. Для підприємства потужністю 100 000 т/рік наведені орієнтовні річні витрати енергії:

- електроенергія: 7 355 000 кВт·год/рік;
- теплоенергія: 127 000 Гкал/рік;
- умовне паливо: 1 900 000 кг умовного палива (у.п.).

З метою уніфікації порівнянь енергоресурсів застосовується перерахунок в кВт×год, 1 кг. у.п. = 0,007 Гкал, 1 Гкал = 1163 кВт×год це дозволяє оцінювати сумарну потребу виробництва незалежно від типу енергетичного носія.

Загальна кількість паливно-енергетичних ресурсів в кВт×год:

$$E_{\text{заг.}} = 7\,355\,000 + 127\,000 \cdot 1163 + 1\,900\,000 \cdot 0,007 \cdot 1163 \\ = 170\,523\,900 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Сума викидів CO₂ які утворюються при спалюванні вугілля при виробництві електроенергії.

$$E_{\text{co}_2} = W \cdot k, \text{ кг CO}_2/\text{рік}$$

W – кількість виробленої енергії, кВт · год/рік; k – коефіцієнт

інтенсивності викидів CO_2 на 1 кВт·год виробленої електроенергії, $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{год}$.

Згідно досліджень Сіднейського Університету [2], вугільна енергетика викидає близько 900 г CO_2 на кВт/год

$$E_{\text{CO}_2} = 170\,523\,900 \cdot 0,9 = 153\,471\,510, \text{ кг } \text{CO}_2/\text{рік}$$

Сонячна енергетика. Сонячна генерація розглядається як один із найбільш доступних та прогнозованих варіантів альтернативної енергетики для промислових підприємств. В умовах Івано-Франківської області прийнято середньорічний сонячний потенціал близько $1168 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ [3]. Для розрахунку була обрана монокристалічна сонячна панель JA Solar JAM72D40-595/MB Bifacial N-Type з номінальною потужністю модуля 595 Вт., ККД - 22.6% та розмірами $2278 \times 1134 \times 30 \text{ мм}$ [4].

Середня кількість енергії яку переробить панель за рік:

$$E_{\text{с.п.}} = H_{\text{рік}} \cdot \eta \cdot L \cdot B \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$$

$H_{\text{рік}}$ – середньорічне надходження сонячної енергії на територію Івано-Франківської області, $\text{кВт}/\text{м}^2$; η – коефіцієнт корисної дії модуля; L – довжина модуля, м; B – ширина модуля, м.

$$E_{\text{с.п.}} = 1168 \cdot 0,226 \cdot 2,278 \cdot 1,134 = 681,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}.$$

Кількості сонячних панелей, які потрібно встановити на території заводу для повного заміщення органічного палива:

$$N = \frac{E_{\text{заг.}}}{E_{\text{с.п.}}} = \frac{170\,523\,900}{681,9} \approx 250\,100 \text{ панелей}$$

Встановлена потужність СЕС (номінальна потужність) — це сумарна потужність усіх сонячних панелей у системі: N – кількості сонячних панелей; $P_{\text{пот}}$ – номінальна потужність однієї панелі, Вт.

$$P_{\text{вст.}} = N \cdot P_{\text{пот}} = 250\,100 \cdot 595 \approx 148\,809\,500 \text{ Вт} \approx 150 \text{ МВт}$$

Вітрова енергетика. Для Західного регіону України середня швидкість вітру на висоті 100 м оцінюється в межах 5–6

м/с, що робить можливим застосування сучасних турбін, адаптованих до низьковітрових умов.

Для аналізу обрано модель Vestas V163-4.5 MW ІЕС ІІВ [5], яка оптимізована для територій із помірним вітровим потенціалом. За середньої швидкості 5,5 м/с прогнозована генерація однієї турбіни становить близько 12,5 млн. кВт·год/рік. Кількості вітроустановок, які потрібно встановити на території заводу для повного заміщення органічного палива:

$$N = \frac{E_{\text{заг.}}}{E_{\text{в.у.}}} = \frac{170\,523\,900}{12\,500\,000} = 13,64 \approx 14 \text{ вітроустановок.}$$

Встановлена потужність ВЕС (номінальна потужність) — це сумарна потужність усіх вітроустановок у системі:

N – кількості вітроустановок; $P_{\text{пот}}$ – номінальна потужність однієї вітроустановки, МВт.

$$P_{\text{вст.}} = N \cdot P_{\text{пот}} = 14 \cdot 4,5 \approx 63 \text{ МВт}$$

Біогаз. Біогазова енергетика розглядається як найбільш комплексний інструмент, оскільки одночасно забезпечує підприємство електроенергією та теплом у рамках когенераційного циклу.

Як оптимальну сировину обрано силос кукурудзи, який має стабільний вихід біогазу (приблизно 200 м³/т) з вмістом метану близько 52%. Використання когенераційної установки дозволяє отримати сумарний ККД до 83% (38% – електрична енергія, 45% – теплова енергія) [6].

$$E_{\text{т.с.}} = V_{\text{б.г.}} \cdot (E_{\text{CH}_4} \cdot \omega_{\text{CH}_4} \cdot \eta_{\text{е}} + E_{\text{CH}_4} \cdot \omega_{\text{CH}_4} \cdot \eta_{\text{т}}); \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

E_{CH_4} – теплотвірна здатність метану, кВт·год/м³; ω_{CH_4} – відсотковий вміст метану в біогазі, %; $\eta_{\text{е}}$ – ККД когенераційної установки по електричній енергії; $\eta_{\text{т}}$ – ККД когенераційної установки по тепловій енергії.

$$\begin{aligned} E_{\text{т.с.}} &= 200 \cdot (9,97 \cdot 0,52 \cdot 0,38 + 9,97 \cdot 0,52 \cdot 0,45) \\ &= 860,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \end{aligned}$$

Враховуючи власні витрати біогазового комплексу (10% електроенергії та 30% тепла) було визначено, що для повного забезпечення підприємства необхідна біогазова станція:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{т.с.}} - (E_{\text{е}} \cdot \omega_{\text{е.в.с.}} + E_{\text{т}} \cdot \omega_{\text{т.в.с.}}); \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

$\omega_{\text{е.в.с.}}$ – відсоток виробленої електроенергії на власні потреби, %;

$\omega_{\text{т.в.с.}}$ – відсоток виробленої теплоенергії на власні потреби, %.

$$E_{\text{заг}} = 860,6 - (394 \cdot 0,1 + 466,6 \cdot 0,3) = 681,2; \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Прийнявши що в рік завод працюватиме 8000 годин, для повного забезпечення виробництва кухонної солі, в годину потрібно виробляти:

$$P_{\text{год}} = \frac{170\,523\,900}{8000} \approx 21\,315,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Встановлена потужність біоустановки (сумарна електрична та теплова):

$$P_{\text{уст}} = \frac{21\,315,5 \cdot 860,6}{681,2} \approx 26\,928,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \approx 27 \text{ МВт}$$

Ключовим обмеженням біогазової моделі є потреба у великій кількості сировини. Для стабільного постачання потрібно вирощувати кукурудзу на великій площі. Однак суттєвою перевагою є утворення дигестату – цінного органічного добрива, яке може частково компенсувати витрати на агровиробництво та відновлювати ґрунти.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що альтернативні джерела енергії можуть бути ефективно інтегровані у виробництво кухонної солі та добрив. Вибір оптимального джерела залежить від конкретних умов регіону, наявних земельних ресурсів, інфраструктури, а також структури енергоспоживання підприємства. Сонячна енергетика забезпечує прогнозовану генерацію, однак генерація не стабільна, різко падає через хмари, туман або пил, зникає вночі та має сезонний характер. Вітрова енергетика демонструє реальну ефективність у

регіоні Прикарпаття, проте також генерація не стабільна та вимагає складного проектування з урахуванням турбулентності та рози вітрів. Біогазова енергетика найстабільніша по генерації енергії та дає додатковий продукт (дигестат) але вимагає значного аграрного забезпечення.

Таким чином, найбільш перспективною стратегією для промислових сольових підприємств є комбінована модель енергопостачання, що поєднує централізовану мережу з власними генеруючими потужностями на основі ВДЕ. Це підвищує енергетичну незалежність та знижує викиди CO₂ на 153 471 510 кг на рік.

Список використаних джерел

1. Ritchie, H., & Rosado, P. (2020, July). Electricity Mix. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
2. Lenzen, M. (2008). Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2178–2199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890408000575>
3. Solargis. (2021). Solar resource maps & GIS data: Ukraine. <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=ukraine>
4. Watt.ua (2025) Monocrystalline solar panel JA Solar JAM72D40-595/MB Bifacial N-type. Available at: <https://watt.net.ua/solnechnie-paneli/monokristallicheskaja-solnechnaja-panel-ja-solar-jam72d40-595-mb-bifacial-n-type.html>
5. Vestas Wind Systems A/S. (2025) Onshore wind turbines. https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/brochures/onshore/4MW_Platform_Brochure.pdf.coredownload.inline.pdf
6. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). (2013). Biogas: An introduction (3rd ed.). <https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/brosch.biogas-2013-en-web-pdf.pdf>.

БАЛАНС ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ РІЗНИХ УМОВ БІОРОЗКЛАДУ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

CARBON BALANCE FOR VARIOUS ORGANIC WASTE BIODEGRADATION CONDITIONS

*Тимчук В.С., Національний університет «Львівська політехніка»
Мальований М.С., д.т.н., проф., Національний університет «Львівська
політехніка»*

*Жук В.М., к.т.н., доц., Національний університет «Львівська політехніка»
Тимчук І.С., д.т.н., доц., Національний університет «Львівська політехніка»
Люта О.М., к.т.н., доц., Національний університет «Львівська політехніка»*

Effective management of organic waste is crucial in the transition to a circular bioeconomy and climate neutrality. This study analyzes carbon balance under different biodegradation pathways, including uncontrolled decomposition, composting, anaerobic digestion, and integrated systems. The results show that carbon distribution significantly varies between CO₂, CH₄ emissions, and stabilized forms in solid residues. Uncontrolled decomposition leads to the highest carbon losses, while composting ensures partial stabilization and anaerobic digestion enables energy recovery through biogas production. The most efficient strategy is a combined approach integrating anaerobic digestion with subsequent composting of digestate, which minimizes greenhouse gas emissions and maximizes carbon retention in stable forms. The findings confirm that carbon balance is a key criterion for optimizing organic waste treatment technologies.

У сучасних умовах переходу до циркулярної біоекономіки та досягнення кліматичної нейтральності особливого значення набуває ефективне управління органічними відходами. Харчові та інші органічні відходи є значним джерелом вуглецю, трансформація якого у процесах біорозкладу визначає як

екологічні наслідки, так і ресурсний потенціал цих відходів. Основними шляхами біорозкладу органічних відходів є аеробні (компостування), анаеробні (зброджування) та комбіновані процеси. Вибір конкретної технології визначає розподіл вуглецю між газовими викидами, стабілізованими формами у твердих продуктах та енергетичними ресурсами. Метою досліджень є аналіз балансу вуглецю за різних умов біорозкладу органічних відходів та визначення найбільш ефективних стратегій їх утилізації з екологічної та ресурсної точки зору.

Аналіз показує, що можна виділити чотири ключові сценарії трансформації органічних відходів:

Неконтрольований біорозклад у природних умовах або на полігонах.

Аеробний біорозклад (компостування).

Анаеробний біорозклад (зброджування) з використанням дигестату як добрива.

Комбінований процес: анаеробне зброджування з подальшим компостуванням дигестату.

Кожен із цих сценаріїв характеризується різним розподілом вуглецю між основними потоками: CO_2 , CH_4 та твердою фазою.

Неконтрольований біорозклад органічних відходів супроводжується значними втратами вуглецю в атмосферу. За даними аналізу:

близько 40–50% вуглецю переходить у CO_2 ;

5–10% — у CH_4 ;

решта (~40–50%) залишається у твердих залишках.

Цей сценарій є найбільш небажаним, оскільки супроводжується неконтрольованими викидами парникових газів і втратами ресурсного потенціалу відходів.

Компостування забезпечує часткову стабілізацію

органічної речовини, однак також супроводжується викидами вуглецевмісних газів:

CO_2 — близько 40% вуглецю;

CH_4 — 5–10% (за неоптимальних умов);

40–50% вуглецю залишається у компості.

Ефективність утримання вуглецю залежить від умов процесу (аерація, вологість, склад суміші). При оптимальному керуванні частка метанових втрат значно знижується.

Анаеробний біорозклад характеризується перерозподілом вуглецю між біогазом і дигестатом:

CH_4 — 30–35% вуглецю;

CO_2 — 20–25%;

40–50% — у дигестаті.

Цей сценарій є енергетично ефективним, оскільки дозволяє отримувати біогаз як відновлюване джерело енергії. Однак значна частина вуглецю залишається у лабільній формі в дигестаті.

Найбільш ефективною з точки зору використання вуглецю є комбінована стратегія, яка передбачає:

анаеробне зброджування із отриманням біогазу;

подальше компостування дигестату.

У цьому випадку:

загальні втрати вуглецю у вигляді CO_2 становлять близько 30–35%;

втрати CH_4 мінімізовані (<1% при належному контролі);

до 30–35% вуглецю зберігається у стабільній формі в компості.

Це забезпечує найвищу повноту біорозкладу та максимальне використання ресурсного потенціалу відходів.

Важливим аспектом є не лише кількість, але й форма вуглецю в кінцевих продуктах:

лабільний вуглець — швидко мінералізується, стимулює

мікробіоту;
гумінові речовини — покращують структуру ґрунту;
резистентні фракції — забезпечують довгострокову секвестрацію вуглецю.

Компостування дигестату сприяє переходу лабільного вуглецю у стабільні гуміфіковані форми, що підвищує якість продукту як добрива.

Порівняльний аналіз показує:
найвищі викиди — при неконтрольованому біорозкладі;
середні — при компостуванні;
найнижчі — при інтегрованих системах.
Ключовими факторами оптимізації є:
контроль аерації та вологості;
баланс C:N;
використання структуроутворювачів;
інтеграція технологій.

Проведений аналіз показує, що баланс вуглецю є ключовим критерієм оцінки ефективності технологій біорозкладу органічних відходів. Неконтрольований біорозклад призводить до значних втрат вуглецю та негативного впливу на довкілля. Компостування забезпечує часткову стабілізацію органічної речовини, тоді як анаеробне зброджування дозволяє отримувати енергію, але не забезпечує повної стабілізації вуглецю.

Найбільш ефективною є інтегрована стратегія «анаеробне зброджування – компостування», яка забезпечує:

максимальне використання енергетичного потенціалу;
мінімізацію викидів парникових газів;
формування стабільних форм органічного вуглецю.

Подальші наші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію умов процесів, підвищення рівня утримання вуглецю та адаптацію технологій до локальних умов.

МОНИТОРИНГ ВМІСТУ ФТОРУ В КОМПОНЕНТАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

MONITORING OF FLUORINE CONTENT IN ENVIRONMENTAL COMPONENTS AND ITS IMPACT ON PUBLIC HEALTH

*Тригуб В.І., канд. геогр. наук, доцент, Одеський національний університет
імені І.І. Мечникова*

Анотація. У тезах висвітлено особливості моніторингу вмісту фтору в основних компонентах навколишнього середовища. Проаналізовано екологічні аспекти нормування гранично допустимих концентрацій фтору у воді, ґрунтах та атмосферному повітрі. Розглянуто основні джерела надходження фторидів у природне середовище та їх вплив на здоров'я населення. Узагальнено підходи вітчизняних науковців до оцінки екологічних ризиків фторидного забруднення. Обґрунтовано необхідність систематичного екологічного моніторингу фтору в умовах зростання антропогенного навантаження.

Ключові слова: фтор, моніторинг довкілля, гранично допустимі концентрації, ґрунти, природні води, екологічна безпека.

Abstract. The theses highlight the peculiarities of monitoring fluorine content in the main environmental components. Environmental aspects of regulating maximum permissible concentrations of fluorine in water, soils and atmospheric air are analyzed. The main sources of fluoride input into the environment and their impact on public health are considered. Approaches of Ukrainian scientists to assessing environmental risks of fluoride pollution are summarized. The necessity of systematic environmental monitoring of

fluorine under conditions of increasing anthropogenic pressure is substantiated.

Keywords: fluorine, environmental monitoring, maximum permissible concentrations, soils, natural waters, environmental safety.

Сучасний розвиток промисловості, інтенсифікація сільського господарства та збільшення антропогенного навантаження на природні екосистеми спричиняють посилення забруднення навколишнього середовища різноманітними хімічними сполуками. Серед небезпечних забруднювачів особливе місце займає фтор, який належить до мікроелементів подвійної дії: у незначних кількостях він є необхідним для нормального функціонування живих організмів, однак його надлишок призводить до токсичних ефектів та порушення екологічної рівноваги.

Проблема екологічного моніторингу фтору є особливо актуальною для територій із високим рівнем техногенного навантаження, а також для регіонів активного використання мінеральних добрив. Значна частина фторидів потрапляє у природне середовище разом із промисловими викидами, фосфорними добривами, стічними водами та атмосферними опадами. Накопичення фтору в ґрунтах, водах і рослинності створює потенційну небезпеку для екосистем та здоров'я населення.

Так, на думку С.А. Балюка, О.А. Носоненка та В.Я. Ладних, сучасна система екологічного моніторингу ґрунтів повинна враховувати особливості зрошення, антропогенне навантаження та процеси міграції хімічних елементів у ґрунтовому покриві. За даними М.П. Гребняка та співавторів, мікроелементи можуть проявляти як позитивний фізіологічний вплив, так і токсичну дію залежно від рівня їх концентрації у природному середовищі.

Особливо небезпечним є надлишковий вміст фтору, який здатний негативно впливати на стан здоров'я населення.

Основною метою екологічного моніторингу є визначення рівнів забруднення компонентів довкілля та оцінка ризиків впливу токсичних речовин на живі організми. Важливе значення має встановлення гранично допустимих концентрацій (ГДК), які характеризують безпечний рівень вмісту хімічної речовини у природному середовищі. Наразі ГДК окремо визначаються для атмосферного повітря, ґрунтів, природних і питних вод, а також рослинної продукції.

Моніторинг атмосферного повітря показує, що основним джерелом фторидного забруднення є промислові підприємства, у викидах яких містяться газоподібні та тверді сполуки фтору. Найбільшу небезпеку становлять фториди, що здатні акумулюватися у рослинності та включатися у харчові ланцюги. Навіть при концентраціях, близьких до нормативних, можуть спостерігатися негативні наслідки для рослинності та тваринного світу.

Важливим напрямом екологічного контролю є моніторинг ґрунтів. Особливу небезпеку становлять водорозчинні форми фтору, які характеризуються високою міграційною здатністю. При зрошенні ґрунтів збільшується рухомість фторидів та ризик їх потрапляння у ґрунтові води й сільськогосподарську продукцію. Для зрошуваних ґрунтів півдня України виділено три рівні вмісту водорозчинного фтору: низький – до 3 мг/кг, середній – 3-6 мг/кг та високий – 6-9 мг/кг [1].

Дослідження українських учених свідчать, що екологічна стійкість ґрунтів до антропогенного навантаження значною мірою залежить від їх буферних властивостей, гранулометричного складу та інтенсивності міграції токсичних сполук. У зв'язку з цим особливого значення набуває моніторинг

рухомих форм фтору в умовах зрошення та активного використання агрохімікатів [4].

Фтор віднесений до першого класу небезпеки серед хімічних забруднювачів ґрунтів і водних об'єктів, що обумовлено його високою біологічною активністю та токсичністю. Його токсичний вплив проявляється у порушенні фізіолого-біохімічних процесів у рослин, зниженні врожайності сільськогосподарських культур, деградації ґрунтового покриву та погіршенні якості природних вод тощо.

Особливо важливим є контроль вмісту фтору у питній воді, оскільки саме вода є одним із головних джерел надходження цього елемента в організм людини. Загальновідомо, що оптимальна концентрація фтору у питній воді становить 0,7-1,1 мг/л. При вмісті фтору нижче 0,7 мг/л підвищується рівень захворюваності населення на карієс, а перевищення концентрації понад 1,5 мг/л спричиняє розвиток ендемічного флюорозу зубів та кісткової системи.

Є.М. Нейко та Г.І. Рудько підкреслюють важливість медико-геологічного аналізу стану довкілля як інструменту оцінки екологічних ризиків для населення. Науковці зазначають, що погіршення якості природних вод і ґрунтів безпосередньо впливає на рівень екологічно зумовлених захворювань.

Надлишок фтору негативно впливає не лише на зубну емаль, а й на функціонування печінки, нирок, опорно-рухового апарату та ендокринної системи. Особливо чутливими до впливу фторидів є діти та населення, що проживає поблизу промислових зон [3,4].

Результати проведених досліджень автора та інших науковців свідчать про необхідність удосконалення системи екологічного моніторингу фтору в усіх компонентах довкілля. Систематичний контроль вмісту фторидів дозволить своєчасно

виявляти небезпечні тенденції забруднення, оцінювати екологічні ризики та забезпечувати екологічну безпеку населення. Особливу увагу необхідно приділяти районам промислового забруднення, територіям інтенсивного землеробства та зонам використання зрошення.

Таким чином, екологічний моніторинг фтору є важливим елементом системи охорони навколишнього середовища та профілактики екологічно зумовлених захворювань населення. Проведення комплексних досліджень дозволяє оцінювати ступінь антропогенного впливу на природні системи та розробляти ефективні природоохоронні заходи.

Список використаних джерел

1. Балюк С.А., Носоненко О.А., Ладних В.Я. Класифікаційні проблеми зрошуваних ґрунтів України. *Вісник ХНАУ. Серія «Ґрунтознавство»*. 2008. № 1. С. 41-55.
2. Гребняк М.П., Гребняк В.П., Єрмаченко О.Б., Павлович Л.В. Забруднення ґрунту хімічними елементами: фактори ризику, негативний вплив на здоров'я. *Довкілля та здоров'я*. 2007. № 3(42). С. 22-28.
3. Нейко Є.М., Рудько Г.І., Смоляр Н.І. Медико-геологічний аналіз стану довкілля як інструмент оцінки та контролю здоров'я населення. Львів–Івано-Франківськ : Екор, 2001. 350 с.
4. Тригуб В.І., Позняк С.П. Фтор у чорноземах південного заходу України : монографія. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. 148 с.
5. Тригуб В.І. Оцінка екологічного нормування гранично допустимих концентрацій фтору в системі «природне середовище – людина». *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2014. Т. 19, вип. 1. С. 139-152.

АЕРОБІОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПИЛКУ ARTEMISIA В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКУ ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ПОЛІНОЗУ

AEROBIOLOGICAL MONITORING OF ARTEMISIA POLLEN IN IVANO-FRANKIVSK AS A BASIS FOR PREDICTING HAY HAZARD RISKS

*Мельниченко Г.М., к.б.н., доц., Карпатський національний університет
імені Василя Стефаника*

*Мельниченко Р.Б., аспірант, Карпатський національний університет
імені Василя Стефаника*

*Кельб Т.І., студентка, Карпатський національний університет
імені Василя Стефаника*

Анотація. У статті представлено результати аеробіологічного моніторингу концентрації пилоквих зерен представників роду *Artemisia* в атмосферному повітрі м. Івано-Франківська впродовж 2024 року. Вибір об'єкта дослідження зумовлений високою алергенною активністю полину та значним поширенням полінозів серед населення регіону. Дослідження проводили гравіметричним методом із використанням пилокволовлювача Дюрама. Встановлено, що полінація *Artemisia* має виражений сезонний характер із найвищими концентраціями пилку у першій та другій декадах серпня. Пікове значення концентрації зафіксовано 4 серпня (45 п.з./м³). На основі кореляційного аналізу виявлено помірний прямий зв'язок між вмістом пилку та температурою повітря ($r = +0,52$) та сильний зворотний зв'язок із відносною вологістю ($r = -0,68$). Отримані дані мають практичне значення для клінічної медицини, оскільки дозволяють прогнозувати періоди найбільшого алергенного навантаження та оптимізувати превентивні заходи для пацієнтів

із сенсibilізацією до пилку полину.

Ключові слова: *Artemisia*, аеробіологічний моніторинг, пилкові зерна, поліноз, метеорологічні фактори, Івано-Франківськ.

Abstract. The article presents the results of aerobiological monitoring of pollen grain concentrations of the genus *Artemisia* in the atmosphere of Ivano-Frankivsk during 2024. The choice of the research object is driven by the high allergenic activity of mugwort and the significant prevalence of pollinosis among the regional population. The study was conducted using the gravimetric method with a Durham pollen trap. It was established that *Artemisia* pollination exhibits a pronounced seasonal character, with the main period occurring during the first and second decades of August. The peak concentration was recorded on August 4 (45 grains/m³). Based on correlation analysis, a moderate direct relationship was identified between pollen content and air temperature ($r = +0.52$), and a strong inverse relationship was found with relative humidity ($r = -0.68$). The findings are of practical significance for clinical medicine, as they allow for the prediction of peak allergen load periods and the optimization of preventive measures for patients with sensitization to mugwort pollen.

Keywords: *Artemisia*, aerobiological monitoring, pollen grains, pollinosis, meteorological factors, Ivano-Frankivsk.

Атмосферне повітря є середовищем постійної циркуляції значної кількості різноманітних часток біологічного походження, що зумовлюють біологічне забруднення довкілля. До типових аеробіополютантів належать пилкові зерна рослин, які становлять основний об'єкт аерополінологічних досліджень [5]. Через вміст специфічних білків-алергенів пилок рослин часто стає першопричиною виникнення та загострення алергічних

захворювань — полінозів [2]. Зважаючи на високу алергенну активність пилку представників роду *Artemisia*, моніторинг динаміки його кількісного складу, а також розробка пилкових календарів є пріоритетними завданнями сучасної аеробіології [1, 4].

Мета дослідження полягала в аналізі динаміки концентрації пилкових зерен полину в атмосферному повітрі м. Івано-Франківська. Вибір об'єкта дослідження зумовлений значним поширенням алергічного риніту та кон'юнктивіту серед населення Центральної та Східної Європи, спричинених цим таксоном; за статистичними даними, сенсibiliзація до пилку *Artemisia* виявляється у 3–15 % пацієнтів із полінозом [3, 6]. Враховуючи високу адаптивність видів *A. vulgaris* L., *A. campestris* L. та *A. absinthium* L. до антропогенно змінених екотопів (рудеральних ділянок, узбіч доріг, агроценозів), вивчення динаміки їхньої полінації має як фундаментальне біоекологічне значення [4, 5], так і вагомий прикладний аспект для клінічної медицини та епідеміологічного прогнозування [2]. Аеробіологічний моніторинг здійснювали гравіметричним методом з використанням пилковловлювача Дюрама, який встановили на даху факультету природничих наук (близько 24 м від поверхні землі). Предметні скельця, змащені гліцерином, замінювали щодоби. Для виготовлення постійних препаратів використовували гліцерин-желатинову суміш із барвником — сафраніном [3]. Підрахунок пилкових зерен проводили за допомогою світлового мікроскопа Olympus CX-41 (збільшення $\times 400$) неперервними вертикальними трансектами. Ідентифікацію пилку здійснювали з використанням визначників та еталонних препаратів. Дані щодо кількості пилкових зерен на 1 см^2 предметного скельця трансформували в кількість пилкових зерен у 1 м^3 повітря (п.з./м^3) [5, 7]. Реєстрація метеорологічних

параметрів здійснювалася в режимі реального часу за допомогою бездротової метеостанції «SPRING BREEZE».

Результати аеробіологічного моніторингу атмосферного повітря міста Івано-Франківська у 2024 році свідчать про виражену динаміку полінації представників роду *Artemisia* з чіткою залежністю від метеорологічних умов (рис.1.). Початок полінологічного сезону був зафіксований у другій декаді липня, проте до 23 липня концентрація пилових зерен залишалася на низькому рівні, не перевищуючи 5 п.з./м³. Починаючи з останньої декади липня, спостерігалось поступове зростання інтенсивності пилення. Головний період полінації припав на першу та другу декади серпня, набуваючи багатопікового характеру.

Абсолютний максимум концентрації було зареєстровано 4 серпня, коли показник сягнув значення 45 п.з./м³, що створює значне алергенне навантаження на населення. Стабільно висока інтенсивність полінації (понад 15 п.з./м³) з періодичними коливаннями тривала до 19 серпня, після чого відзначено стрімке зниження концентрації пилових зерен. Наприкінці серпня інтенсивність полінації суттєво знизилася, а протягом вересня реєструвався лише фоновий рівень пилових зерен, позбавлений вагомego епідеміологічного значення.

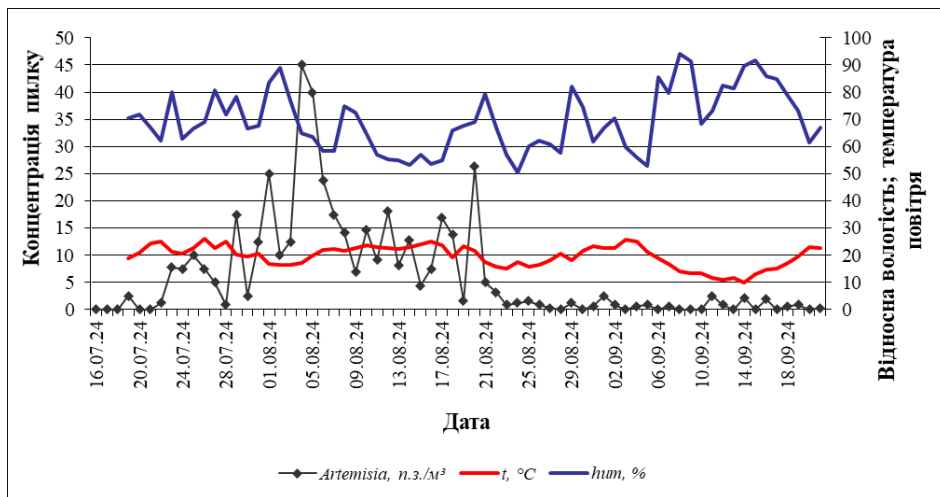


Рис.1. Динаміка концентрації пилкових зерен полину в атмосферному повітрі м. Івано-Франківська

Результати зіставлення полінологічних даних із метеорологічними параметрами вказують на високу залежність процесів пилення та розсіювання аероалергенів від варіацій температури й відносної вологості повітря. Встановлено помірний прямий кореляційний зв'язок між добовою концентрацією пилку та середньодобовою температурою повітря ($+0,52$; $p < 0,05$), що пояснюється стимулювальним впливом тепла на процеси мікроспорогенезу. Водночас відносна вологість повітря виступала ключовим лімітуючим фактором, демонструючи сильний зворотний кореляційний зв'язок із вмістом аероалергенів у повітрі ($-0,68$; $< 0,01$).

Таким чином, найбільш критичним періодом щодо ризику виникнення полінозу в регіоні є перша половина серпня, особливо за умов утримання високих температур на фоні низької відносної вологості повітря. Отримані результати дозволяють оптимізувати стратегію превентивної медицини та підвищити

точність епідеміологічного прогнозування в межах Прикарпаття.

Список використаних джерел

1. Analysis of *Artemisia* pollen season in selected cities of Poland in 2022 / J. Rapiejko et al. *Alergoprofil*. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 13–19. DOI: 10.24292/01.AP.193313223.
2. Comparison of *Artemisia* L. pollen concentrations and risk of development of allergy symptoms in different regions of Poland in 2020 / K. Piotrowska-Weryszko et al. *Alergoprofil*. 2020. Vol. 16, No. 4. P. 27–33. DOI: 10.24292/01.AP.164311220.2.
3. Co-occurrence of *Artemisia* and *Ambrosia* pollen seasons against the background of the synoptic situations in Poland / D. Stępańska et al. *International Journal of Biometeorology*. 2017. Vol. 61, No. 4. P. 747–760. DOI: 10.1007/s00484-016-1254-4.
4. Global warming contributes to reduction in the intensity of *Artemisia* pollen seasons in Lublin, central-eastern Poland / K. Piotrowska-Weryszko et al. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2024. Vol. 31, No. 2. P. 185–192. DOI: 10.26444/aaem/185202.
5. Pollen monitoring in the city of Ivano-Frankivsk, western Ukraine / G. Melnychenko et al. *Acta Agrobotanica*. 2020. Vol. 73, No. 4. Art. 7341. DOI: 10.5586/aa.7341.
6. Variation in *Artemisia* pollen seasons in Central and Eastern Europe / Ł. Grewling et al. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012. Vol. 160. P. 48–59. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.02.013.
7. Мельниченко Г. Динаміка вмісту алергенного пилку у повітрі урбоєкосистеми Івано-Франківська (літньо-осіння хвиля палінації). *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*. 2016. Т. 8, № 2. С. 239–245. URL: <https://europub.co.uk/articles/-A-176197>.

МОНІТОРИНГ ТРАНСКОРДОННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ: МІЖНАРОДНА СПІВПРАЦЯ

MONITORING TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION: INTERNATIONAL COOPERATION

*Курта С.А., д.т.н., проф. кафедри хімії Карпатського національного
університету ім. В. Стефаника м.Івано-Франківськ*

В результаті проведеного моніторингу за 2 роки, з 2022 до року було реалізовано більше 12 маршрутів по Івано-Франківській області, загальною протяжністю близько 1500 км більш ніж в 126 населених пунктах сіл і міст та промислових підприємств області). Під час моніторингу не було виявлено значного і постійного перевищення норм ГДК для 7-ми отруйних газів (CO, CO₂, NO₂, H₂S, SO₂, NH₃, CH₂O), в навколишньому атмосферному повітрі дослідженого регіону України.

As a result of our monitoring over 2 years, from 2022 to 2023, when more than 12 routes were carried out in the Ivano-Frankivsk region, with a total length of about 1,500 km, in more than 126 settlements, villages and cities and industrial enterprises of the region, we did not detect any significant and constant exceedance of the MPC

п
о
г
Методологічно моніторинг повітря або проведення низки однотипних замірів атмосферного повітря в населених пунктах України і подальший їх аналіз, оцінка, порівняння отриманих результатів для виявлення певних закономірностей, тенденцій, змінних, їх динаміки в Івано-Франківській області має надзвичайне значення. Івано-Франківська область України, розташована між 47°30' південної широти і 23°31' східної довготи. Площа – 13,9 тис. км². Населення становить 1381,8 тис.

осіб. Івано-Франківська область розташована неподалік географічного центру Європи, на південному заході України, на стику двох великих природно-географічних підрозділів – Східноєвропейської рівнини та Східних Карпат [1].

За даними Головного управління статистики в атмосферне повітря Івано-Франківської області у 2022-2023 р. всього надійшло 251,5 тис.т. забруднюючих речовин, що на 3,1 % більше, ніж у 2021 році, причому найбільше із них-52% діоксиду сірки -139,6 тис. тон, із них 90% відсотків приходить на Бурштинську ТЕЦ і 8% на автотранспорт та пов'язано з військовими діями на сході України від агресії Росії. Таким чином у атмосферу могло надійти близько 4,1 млн.т діоксиду вуглецю, який також впливає на зміну клімату. Збільшення шкідливих викидів в атмосферу відбулось у Калуському, Надвірнянському, та Рожнятівському районах. Зменшення шкідливих викидів в атмосферу найбільш суттєво відбулось у Рогатинському районі (рис.1.). У розрахунку на квадратний кілометр території області у 2022-2023 р. було викинуто 14,1 т шкідливих речовин, що на 2,0 . менше, ніж у 2008 р. На одного жителя Івано-Франківської обл. у 2023 році приходить 182.5 кг/люд. відходів, що значно менше ніж в 2008 році-215 кг/люд. У Галицькому районі за рахунок Бурштинської ТЕЦ, питома вага якого склала 89,2% у загальних викидах по області, в середньому на 1 км² обсяги викидів склали 264,7 т. Найменшого антропогенного навантаження зазнало атмосферне повітря на території Верховинського (7,5 кг на 1 км²), Тлумацького (10,28 кг на 1 км²), Городенківського (62,9 кг на 1 км²) районів та Болехівської міської ради (149,3 кг на 1 км²).

Основними забруднювачами повітря є підприємства по виробництву та розподілу електроенергії, газу і води, транспорту та зв'язку. Цими підприємствами є: Бурштинська ТЕС, УМГ “Прикарпаттрансгаз”, Івано-Франківський цементно-шиферний

комбінат, весь Калуський комплекс з 12 хімічних підприємств, Брошнівське ТОВ «Кроно-Україна», та підприємства м. Надвірна.

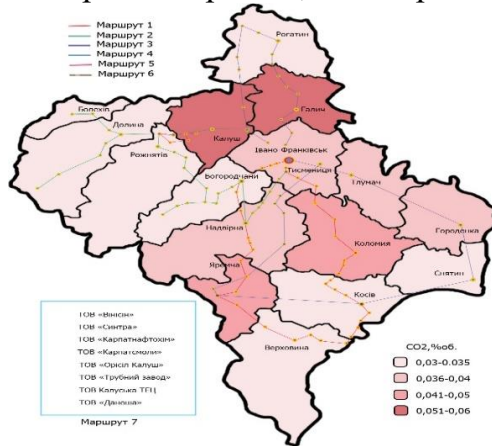


Рис.1 Концентрація вуглекислого газу (CO₂) в атмосфері повітря Івано-Франківської області та в українських Карпатах за період 2022-2023 рр.

Від цих підприємств у довкілля потрапило 200,876 тис.т шкідливих речовин, на 12,3% менше, ніж у попередньому році, так як більшість із них була зупинена в 2022-2023 р. в зв'язку початком військових дій росії на території України.

Оскільки викиди Бурштинської ТЕС складають 91,2% усіх викидів стаціонарних джерел Івано-Франківської області, природоохоронні заходи на цьому підприємству є першочерговими, їх виконання дозволить значно зменшити фактичні обсяги викидів по всій області, наприклад на рис.2. показані реальні концентрації газоподібного діоксиду сірки (SO₂) в повітрі Івано-Франківської області та в українській частині Карпат за період 2022-2023 р.

Актуальним є також питання зменшення впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря міст та населених

пунктів області. Зменшення цього впливу можливе шляхом удосконалення схем руху, облаштування майданчиків для паркування автомобілів, покращення якості палива, а також доріг.

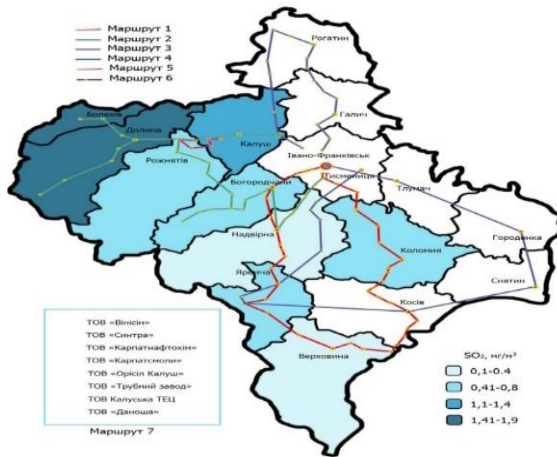


Рис.2 Концентрація газоподібного діоксиду сірки (SO_2) в атмосфері повітря Івано-Франківської області та в українських Карпатах за період 2022-2023.

В значній мірі на стан атмосферного повітря впливають транскордонні перенесення шкідливих речовин зі сходу України, де проходять військові дії Росії проти України, а також з країн центральної Європи, однак відсутність стаціонарної мережі постів контролю не дає можливості реально оцінити величину впливу транскордонних забруднень до загальної оцінки стану атмосферного повітря області. Наприклад концентрації газоподібного аміаку (NH_3) в повітрі Івано-Франківської області та в українських Карпатах за період 2022-2023 р., показано на рис. 3.

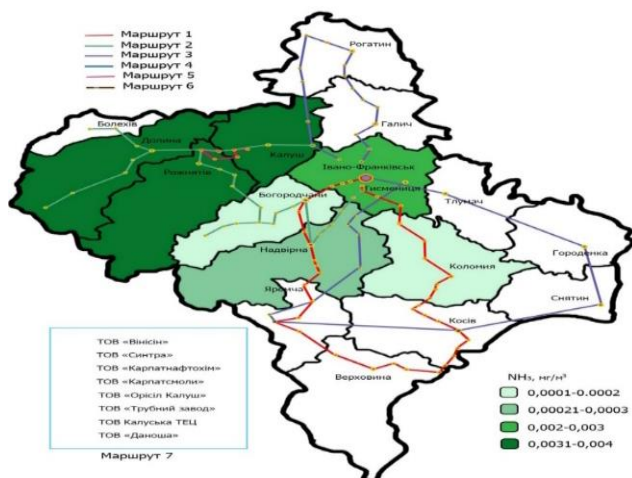


Рис.3. Концентрація газоподібного аміаку NH₃ в атмосфері повітря Івано-Франківської області та в українській частині Карпат за період 2022-2023 рр.

Спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря проводять спеціалісти Івано-Франківської обласної санітарно-епідеміологічної станції. У 2023 році ними зафіксований підвищений вміст по діоксиду сірки, оксиду вуглецю, пилу, діоксиду азоту, формальдегіду, які викидаються підприємствами та автотранспортом, кількість одиниць якого (легкових, вантажних та спеціальних автомобілів) вже перевищила цифру 2,6 млн. автомобілів з них 10 % експлуатуються більше 10 років, а також пов'язані з військовими діями на території України. Тобто на кожного жителя області приходить по 2 і більше автомобілі, що спричиняє велике екологічне навантаження та оточуюче середовище.

Найбільший рівень забруднення в області вносили: Бурштинська ТЕС насамперед по (діоксиду сірки, діоксид азоту, окис вуглецю, пил), ВАТ «Нафтохімік Прикарпаття», м.Надвірна,

(окис вуглецю), ТОВ “Лк Інтерплит Надвірна” м. Надвірна (пил, формальдегід), ТОВ “Карпатнафтохім” та інші хімічні підприємства м. Калуш (оксид вуглецю, діоксид вуглецю, органічні речовини), КП “Івано-Франківськ водокотехпром” (сірководень), ТОВ “Кроно-Україна” смт. Брошнів (формальдегід, пил, оксид вуглецю).

Гама-фон у 2022-2023 році на території Івано – Франківської області вимірювався в п’яти населених пунктах краю, в містах: Івано – Франківську, Долині, Коломиї, Яремчі та на станції Пожежевська. В 2013 році гама – фон вимірювався приладом типу ДРГ – 01Т. Загальні показники радіоактивного забруднення атмосферного повітря на території області за 2023 рік не перевищують рівень природного гама – фону; в порівнянні з попереднім роком, ці величини суттєво не змінилися(рис.4.).

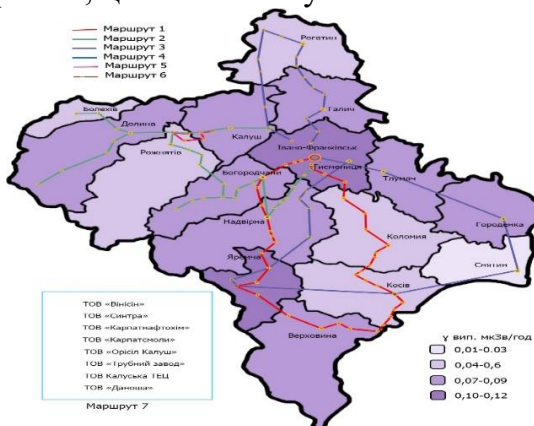


Рис.4. Величина радіаційного фону-γ-випромінювання в атмосфері повітря Івано-Франківської області та в українській частині Карпат за період 2022-2023 рр.

На виконання вимог Монреальського протоколу по речовинах, що руйнують озоновий шар та “Програми припинення виробництва та використання озоноруйнівних речовин на 2004 -

2030 роки” на підприємствах області проведені наступні заходи. На ТОВ “Карпатнафтохім” м. Калуш в цехах, де установлені системи кондиціонування повітря, в 2009 році проведена їх консервація. На ВАТ “Західенерго” Бурштинська ТЕС у 2009 році системи кондиціонування повітря демонтовані.



Рис.5. Концентрація формальдегіду в атмосфері повітря Івано-Франківської області та в українських Карпатах за період 2022-2023 р.

Висновки. Основними забруднювачами повітря Івано-Франківської області є підприємства з виробництва та розподіленню електроенергії, газу, води, діяльності транспорту та хімічні підприємства, також військові дії. Необхідно відмітити, що за останні роки на території області спостерігається чітка тенденція зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, але військові дії росії на території України, вносять свої коретиви. Таким чином, основними забруднювачами атмосферного повітря в області залишаються: Бурштинська ТЕС,

м. Бурштин, Галицький район; працюючі заводи ТОВ “Карпатнафтохім” (шість хімічних підприємств) та додатково ще сім хімічних підприємств м. Калуш та району; ВАТ “Нафтохімік Прикарпаття” та ТОВ “ЛК Інтерплит-Надвірна” м. Надвірна; УМГ “Прикарпаттрансгаз”, КП “Івано-Франківськ-водокотехпром” м. Івано-Франківськ; ВАТ “Івано-Франківськцемент”; ВАТ фірма “Барва”, с. Ямниця Тисменецького району; ТОВ “Кроно-Україна”, ТОВ “Памібро”, ТОВ “Поліком” смт. Брошнів, Рожнятівськ району; легковий, вантажний та спеціальний автомобільний транспорт, що налічує понад 2.6 млн. авто.

Також значний негативний вплив на забруднення повітря мають військові дії в Україні, а особливо після 2022 року.

Список використаних джерел

1. Екологічний паспорт Івано-Франківської області / Департамент екології та природних ресурсів Івано-Франківської облдержадміні . – 2023.
2. Angela M. Michnea, Kurta Sergiy. Calitatea aerului in regiunea transfrontaliera Romania- Ukraina. Monografie. // Raport .“Managementul pentru un aer in regiunea transfrontaliera Romania-Ukraina (CLAMROUA)-HUSKROUA 1101|127”. Монографія. “Якість повітря у румунсько-українському транскордонному регіоні. Звіт. “Менеджмент чистого повітря у румунсько-українському транскордонному регіоні”.Baia Mare Romania, <http://arpmmm.anpm.ro>. ДВНЗ ”Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника “ м. Івано-Франківськ Україна. 2015.-98 р.

ШТУЧНІ ВОДНО-БОЛОТНІ УГІДДЯ ЯК ПРИРОДНООРІЄНТОВАНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ДОЩОВИХ ВОД В УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

ARTIFICIAL WETLANDS AS A NATURE-BASED SOLUTION FOR RAINWATER TREATMENT IN URBAN AREAS

Гриценко Н.В., Національний університет «Львівська політехніка»

*Мальований М.С., д.т.н., проф., Національний університет
«Львівська політехніка»*

*Гумницький Я.М., д.т.н., проф., Національний університет «Львівська
політехніка»*

Rapid urbanization, expansion of impervious surfaces, and climate change significantly deteriorate the quality of stormwater runoff. Urban runoff contains a wide range of pollutants, including suspended solids, organic matter, nutrients (nitrogen and phosphorus), heavy metals, petroleum products, and microplastics, which negatively affect aquatic ecosystems when discharged without treatment. Conventional stormwater treatment technologies often have high capital and operational costs and limited efficiency in removing dissolved contaminants. Therefore, increasing attention is being paid to nature-based solutions, particularly constructed wetlands, which mimic natural purification processes. The main treatment mechanisms include sedimentation, filtration, adsorption, and biological transformations such as nitrification and denitrification. Constructed wetlands demonstrate high removal efficiencies for key pollutants, especially suspended solids and associated contaminants. Their performance depends on hydraulic conditions, retention time, vegetation type, and climate. Despite certain limitations, these systems offer a sustainable, cost-effective, and environmentally friendly

solution for integrated stormwater management.

Інтенсивна урбанізація, збільшення площ водонепроникних покриттів та зміни клімату призводять до істотного погіршення якості дощових (поверхневих) вод. Дощовий стік з урбанізованих територій містить значну кількість забруднювачів, зокрема завислі речовини, органічні сполуки, біогенні елементи (азот і фосфор), важкі метали, нафтопродукти та мікропластик. Потрапляючи у природні водойми без належного очищення, такі води спричиняють евтрофікацію, токсичний вплив на біоту та погіршення екологічного стану водних екосистем.

Традиційні інженерні рішення для очищення дощових вод (відстійники, піскоуловлювачі, фільтри) часто характеризуються високою вартістю будівництва та експлуатації, а також обмеженою ефективністю щодо розчинених забруднювачів. У зв'язку з цим зростає інтерес до природоорієнтованих рішень (Nature-based Solutions), зокрема до використання штучних водно-болотних угідь (constructed wetlands), які імітують природні процеси самоочищення вод. Метою дослідження є узагальнення сучасних підходів до використання штучних водно-болотних угідь для очищення дощових вод, аналіз їх ефективності та обґрунтування перспектив впровадження в умовах України. Якість дощового стоку значною мірою залежить від типу поверхні, інтенсивності опадів та характеру антропогенного навантаження. Основними джерелами забруднення є транспорт, промислові підприємства, будівельні майданчики, а також атмосферні опади. Особливістю дощового стоку є так званий «ефект першого змиву» (first flush), коли на початку дощу концентрації забруднювачів є максимальними. Це створює додаткові виклики для систем очищення.

Штучні водно-болотні угіддя є інженерно створеними

системами, які відтворюють природні процеси очищення води за участю рослинності, ґрунтового субстрату та мікроорганізмів. Основні механізми очищення включають: седиментацію завислих частинок; фільтрацію через пористе середовище; адсорбцію забруднювачів на поверхні субстрату; біологічну трансформацію органічних речовин; нітрифікацію та денітрифікацію азотних сполук; акумуляцію біогенних елементів рослинами; осадження та зв'язування фосфору. За конструкцією розрізняють:

- поверхневі (free water surface) системи;
- підповерхневі (subsurface flow) системи (горизонтального та вертикального потоку);
- гібридні системи.

Для очищення дощових вод найчастіше використовуються поверхневі або комбіновані системи, що забезпечують як затримання пікових витрат, так і очищення. Дослідження показують, що штучні водно-болотні угіддя можуть забезпечувати високу ефективність очищення:

- завислі речовини: 70–95%;
- БСК₅: 60–85%;
- ХСК: 50–80%;
- загальний азот: 30–70%;
- загальний фосфор: 20–60%;
- важкі метали: 40–90%.

Висока ефективність досягається за рахунок комплексного поєднання фізичних, хімічних та біологічних процесів. Особливо ефективними ці системи є для видалення завислих речовин та частково зв'язаних забруднювачів. Водночас ефективність очищення залежить від гідравлічного навантаження; часу утримання води; температурних умов; типу рослинності; характеристик субстрату. У холодний період ефективність

біологічних процесів може знижуватись, однак фізико-хімічні процеси залишаються активними. До основних переваг штучних водно-болотних угідь належать низькі експлуатаційні витрати; енергонезалежність або мінімальне енергоспоживання; висока екологічна сумісність; здатність до одночасного регулювання стоку та очищення вод; покращення мікроклімату та біорізноманіття; інтеграція в міський ландшафт. Разом з тим існують певні обмеження: потреба у значних площах; залежність ефективності від кліматичних умов; необхідність періодичного обслуговування (видалення мулу, догляд за рослинами); обмежена ефективність щодо деяких розчинених забруднювачів.

Отже, в Україні проблема очищення дощових вод залишається недостатньо врегульованою. У більшості міст дощові стоки відводяться без очищення або після мінімальної механічної обробки. Впровадження штучних водно-болотних угідь може стати ефективним рішенням, особливо для нових житлових районів, промислових зон, транспортної інфраструктури, малих населених пунктів. Штучні водно-болотні угіддя є ефективним та екологічно доцільним інструментом очищення дощових вод, який базується на використанні природних процесів. Вони забезпечують значне зниження концентрацій основних забруднювачів, одночасно виконуючи функції регулювання стоку та покращення екологічного стану урбанізованих територій. Незважаючи на певні обмеження, пов'язані з потребою у площах та кліматичними факторами, ці системи мають значний потенціал для впровадження в Україні як складова сталого управління водними ресурсами. Подальші наші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію конструктивних параметрів, підвищення ефективності видалення біогенних елементів та адаптацію технології до місцевих умов.

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ, ЯКІ СТВОРЮЮТЬ ПФАС ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

ENVIRONMENTAL RISKS POSED BY PFAS TO THE ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH

Озимок Т.В., Національний університет «Львівська політехніка»

*Мальований М.С., д.т.н., проф., Національний університет
«Львівська політехніка»*

*Попович О.Р., к.т.н., доц., Національний університет «Львівська
політехніка»*

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are persistent “forever chemicals” widely used in industrial and consumer products, posing significant risks to the environment and human health. Their high stability, mobility, and bioaccumulation potential lead to widespread contamination of water, soil, air, and biota, including humans. Exposure to PFAS is associated with endocrine disruption, immune system impairment, and increased risks of cancer and developmental disorders. The study highlights key environmental pathways, including long-range transport and biomagnification in food chains. Current treatment technologies remain limited in effectiveness and are often costly. Regulatory benchmarks, such as EU drinking water limits and EFSA intake thresholds, emphasize the significance of even low concentrations. A comprehensive approach involving monitoring, safer alternatives, and improved remediation technologies is essential to mitigate PFAS-related risks.

У сучасних умовах індустріального розвитку та зростання хімічного навантаження на довкілля особливу увагу привертають пер- та поліфторалкільні сполуки (ПФАС), які отримали назву «вічних хімікатів» через їх надзвичайну стійкість до біологічного та хімічного розкладу. Ці сполуки широко використовуються у промисловості, зокрема у виробництві антипригарних покриттів,

водовідштовхувальних матеріалів, пакувальної продукції, піноутворювачів для гасіння пожеж та інших виробів. ПФАС виявляються у поверхневих і підземних водах, ґрунтах, атмосфері та біоті, включаючи організм людини. Особливо небезпечним є їх потрапляння у питну воду, що є одним з основних шляхів хронічного впливу на населення. Дослідження показують, що навіть низькі концентрації цих сполук можуть мати негативні наслідки для здоров'я. Основними механізмами токсичної дії ПФАС є порушення ендокринної системи, імунної відповіді, функцій печінки та метаболізму ліпідів. Встановлено зв'язок між впливом ПФАС та підвищеним ризиком розвитку онкологічних захворювань, зниженням фертильності, порушенням розвитку дітей та іншими хронічними захворюваннями.

Екологічні ризики ПФАС пов'язані з їх високою мобільністю у водному середовищі та здатністю до довготривалого перенесення на великі відстані. Вони можуть поширюватися через атмосферні процеси та водні потоки, забруднюючи віддалені регіони, включаючи арктичні екосистеми. Важливою особливістю ПФАС є їх здатність до біомагніфікації у харчових ланцюгах, що призводить до зростання концентрацій у вищих трофічних рівнях. Це створює додаткові ризики для людини через споживання забруднених продуктів харчування.

Сучасні методи очищення води та ґрунтів від ПФАС є обмежено ефективними та часто потребують значних енергетичних і фінансових витрат. До найбільш перспективних технологій належать адсорбція на активованому вугіллі, іонообмінні смоли, мембранні процеси, а також новітні методи окиснення. У відповідь на зростаючі екологічні та медичні ризики, у багатьох країнах світу посилюється регулювання використання ПФАС, включаючи обмеження або заборону

окремих сполук. Європейський Союз розглядає можливість широкомасштабної заборони цієї групи речовин. Зменшення ризиків впливу ПФАС потребує комплексного підходу, який включає моніторинг, розвиток безпечних альтернатив, удосконалення технологій очищення та підвищення обізнаності населення. Таким чином, ПФАС становлять серйозну загрозу для довкілля та здоров'я людини через їх стійкість, токсичність та здатність до накопичення. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вивчення механізмів впливу, розробку ефективних методів видалення та формування стратегій мінімізації їх використання.

Для підсилення оцінки екологічних і медико-біологічних ризиків ПФАС доцільно використовувати актуальні числові орієнтири, що застосовуються міжнародними та європейськими регуляторними інституціями. Вони демонструють, що навіть дуже низькі концентрації цих сполук у воді та харчовому ланцюгу розглядаються як значущі з точки зору довготривалого хронічного впливу.

У Європейському Союзі Директива (EU) 2020/2184 щодо якості води, призначеної для споживання людиною, встановлює два підходи до контролю ПФАС у питній воді: 0,10 мкг/л для суми 20 визначених сполук PFAS та 0,50 мкг/л для показника total PFAS. Такий підхід орієнтований на групову оцінку забруднення і є важливим для систем моніторингу водопостачання.

Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) визначило групове допустиме тижневе надходження (TWI) на рівні 4,4 нг/кг маси тіла на тиждень для суми чотирьох найбільш досліджених сполук — PFOA, PFNA, PFHxS і PFOS. Критичним ефектом для такого орієнтира визнано негативний вплив на імунну відповідь, зокрема на реакцію організму на вакцинацію.

Всесвітня організація охорони здоров'я у 2025 році продовжила розроблення настанов щодо PFOS і PFOA у питній воді та рекомендує державам прагнути до концентрацій, що є настільки низькими, наскільки це практично можливо. У матеріалах WHO також згадується орієнтир 100 нг/л як тимчасове значення, пов'язане насамперед із досяжністю очищення, а не як повністю ризик-базований безпечний рівень.

З позиції канцерогенних ризиків IARC у Monographs Volume 135 класифікувало PFOA як канцерогенний для людини (Group 1), а PFOS — як можливо канцерогенний для людини (Group 2B). Це підсилює аргументацію щодо необхідності суворого моніторингу забруднення довкілля, насамперед водних ресурсів, ґрунтів і харчових продуктів.

Організація / документ	Показник	Числове значення	Практичне значення
ЄС, Директива 2020/2184	Сума 20 PFAS у питній воді	0,10 мкг/л	Порогове значення для контролю питної води
ЄС, Директива 2020/2184	Total PFAS у питній воді	0,50 мкг/л	Інтегральний індикатор групового забруднення
EFSA	TWI для 4 PFAS	4,4 нг/кг маси тіла/тиждень	Орієнтир довготривалого безпечного надходження
WHO, 2025 background work	Тимчасовий орієнтир для PFOS/PFOA у питній воді	100 нг/л	Орієнтир досяжності очищення, а не остаточний health-based стандарт
IARC Monographs Volume 135	Класифікація PFOA	Group 1	Канцерогенний для людини
IARC Monographs Volume 135	Класифікація PFOS	Group 2B	Можливо канцерогенний для людини

Наведені значення доцільно використати як кількісне обґрунтування рівнів ризику, а також як основу для моніторингу, нормування та мінімізації впливу ПФАС на довкілля та здоров'я.

МОНІТОРИНГ І АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ СОЛЯНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ ЗА 2024-2025 РОКИ

MONITORING AND ANALYSIS OF THE QUALITY OF NATURAL SALT SPRINGS OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE FOR 2024-2025

Кулик Г.М., головний технолог Державної установи «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії»

Сулима І.В., інженер Державної установи «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії»

Анотація. Окреслено історичний ракурс географічного розташування соляних родовищ Карпатського регіону. Показаний взаємозв'язок між господарською діяльністю людини і її наслідками, а також важливим транскордонним співробітництвом з метою моніторингу і контролю за мінімізацією наслідків можливих соленосних підтоплень, засоленості поверхневих вод і ґрунту. Досліджено зовнішній стан і доступність соляних джерел у селах Новиця і Старуня на Прикарпатті та селі Олександрівка на Закарпатті, а також визначено фізико-хімічні показники якості розсолу на трьох глибинах для прикарпатських джерел і чотирьох глибинах для закарпатського джерела. Якість показників розсолів з цих природних об'єктів навколишнього середовища підкреслює вагомий потенціал регіону у відновленні та розвитку традиційного солевидобутку.

Ключові слова: харчова сіль, соляне джерело, фізико-хімічний показник.

Abstract. The historical perspective of the geographical location of the salt deposits of the Carpathian region is outlined. The

relationship between human economic activity and its consequences is shown, as well as important cross-border cooperation to monitor and control the minimization of the consequences of possible saline flooding, salinity of surface waters and soil. The external condition and accessibility of salt springs in the villages of Novytsia and Starunya in the Carpathian region and the village of Oleksandrivka in Transcarpathia are investigated, and the physicochemical indicators of brine quality at three depths for the Carpathian springs and four depths for the Transcarpathian spring are determined. The quality indicators of brines from these natural environmental objects emphasize the significant potential of the region in the restoration and development of traditional salt production.

Keywords: edible salt, salt spring, physicochemical indicator.

Ринок харчової солі в Україні на теперішній час має рівномірне, стабільне, і виключно, імпортне забезпечення з Єгипту, Туреччини і Румунії (згідно даних Державної митної служби за 1 квартал 2026 р.), проте Карпатський регіон з давніх давен славився великими запасами солі.

Як зазначено у [1] соляні родовища поширювалися на північ від гір в Польщі і Україні, передгір'я Мунтенії і Трансильванії, включаючи Марамуреш (Румунія), а також Молдови. Саме в Молдові радіовуглецеве датування отримане в ході розкопок вказує на 6 тисячоліття до н.е, що дозволяє стверджувати про найбільш ранній видобуток кам'яної солі в світі (епоха неоліту), в інших же місцях ознак щодо такої давності видобутку менше.

Глибина залягання соляних пластів впливає на спосіб її отримання. Шахтний спосіб у Карпатському регіоні України не є поширеним і наразі негативно представлений Солотвинським родовищем. Транскордонний моніторинг стану затоплених шахт

цього родовища необхідний, адже ділити багатий солями Карпатський регіон з сусідніми державами це і перевага, і водночас ризик, бо з часом екологічні наслідки нераціонального поводження і халатності, можуть стерти кордони держав і тоді міжнародна спільнота вирішуватиме глобальні проблеми, що загрожуватимуть їх здоров'ю (якість питної води) та безпечному проживанню.

У вересні-жовтні 2016 р. Європейською комісією було організовано місію дослідження стану шахт Солотвинського родовища із залученням представників України і Великої Британії, резолюцією була необхідність моніторингу потоку і якісних параметрів води в річці Тиса вище і нижче смт. Солотвино по річищу [2].

За грантового фінансування в 2018 р. спільнота вчених з угорського, українського і румунського освітніх закладів після проведених досліджень рекомендувала вживати кроки щодо стабілізації шахтних стволів і покращення дренажної системи [3]. Але комплексне порівняння даних стану території за період з 2014-2021 рр., теж за грантової підтримки 2020-2023 рр., було проведено групою словацько-українсько-китайських вчених. Досліджено активну зону деформації з використанням супутникових радіолокаційних даних (Sentinel-1), оптичних супутникових світлин (Pleiades, SPOT) і фотометрії з допомогою БПЛА. Встановлено більш різкі тенденції просідання в центральній частині дослідної території, підтверджено збільшення площі затоплення поверхні провалів і доказано появу нових карстових провалів в центральній частині шахти, в результаті запропоновано високоточну систему постійного моніторингу на основі супутникової радіолокаційної інтерферометрії [4].

Найбільш поширеною і давньою для цього регіону, що

підтверджено археологічно, має рідка форма виходу солі на поверхню у вигляді джерел (криниць), річок, ставків, що є наслідком розчинення поверхневими водами соляної породи малої глибини залягання. Отримання солі методом випаровування таких розсолів з використанням зеленої енергетики є мабуть найбільш вигідним для теперішніх умов України.

Згідно з [1] відомо, що тільки в Румунії нараховано близько 2000 соляних джерел. Місцеві мешканці використовують їх для консервування продуктів і традиційної медицини, існують вони в Польщі [5] і в Україні [6], але більшість виведено з експлуатації ще в далекий австрійський період.

Метою було дослідити сучасний стан наявних, історично зафіксованих на території України соляних джерел, їх якісний і кількісний склад, а також доступність сировини для отримання цінного харчового продукту, принаймні способами кустарного виробництва на рівні місцевих громад для їх власного розвитку і забезпечення.

У ході експедицій протягом 2024-2025 рр. працівниками ДУ «НІОХІМ» відвідано і відшукано велику кількість згадуваних в історичних документах соляних джерел з метою їх дослідження та встановлення їх географічних координат. Частина джерел знаходяться на обліку і зараз, є ті, які забуті і занедбані, а також ті, які місцеве населення експлуатує для особистого використання. Як результат були проведені фотофіксації природніх об'єктів навколишнього середовища, забір проб, а в результаті створено інтерактивну карту (посилання <https://maps.app.goo.gl/PiKZFqecF3G51d497>).

Забір проб здійснювався відповідно до можливостей доступу і стану джерел. Представляємо деякі дані фізико-хімічних аналізів – кількісного іонного складу розсолів

відібраних проб з різних глибин джерел, візуальний стан яких можна вважати задовільним. Представлено аналізи для 3 джерел: з с. Новиця Калуського району Прикарпаття; з с. Старуня, Богородчанського району Прикарпаття, з с. Олександрівка Тячівського району Закарпаття.

Відбір проб був здійснений для чотирьох глибин джерела на Закарпатті і з трьох глибин джерел Прикарпаття.

Таблиця 1.

Фізико-хімічний аналіз відібраних проб

№	Географічне походження	Глибина, м	Іонний склад, г/дм ³			
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Σсолей	H ₂ O
1	с. Новиця	0	189,298	6,834	321,965	874,035
2	с. Новиця	10	199,329	5,886	336,345	858,655
3	с. Новиця	25	199,237	6,583	337,192	858,808
1	с. Старуня	0	190,888	5,102	321,24	868,66
2	с. Старуня	6	192,600	5,597	324,914	862,086
3	с. Старуня	16	195,923	6,173	331,242	867,758
1	с. Олександрівка	0	97,624	3,415	62,737	939,009
2	с. Олександрівка	2	190,110	2,922	317,935	875,065
3	с. Олександрівка	5	193,536	2,675	323,342	874,658
4	с. Олександрівка	11	195,248	3,127	326,532	871,468

Варто зазначити, що вміст карбонатів було зафіксовано лиш у пробах із Закарпаття із найбільшим зафіксованим значенням на глибині 5 м – 0,610 г/дм³, усереднене значення на інших глибинах склало – 0,390 г/дм³. Вміст Mg²⁺ у джерелі с. Новиця залишався стабільним по всій глибині до 25 м і складав 0,808 г/дм³, така ж його кількість зафіксована у пробі з поверхні джерела у с. Старуня, а на глибині 6 і 16 м того ж джерела – 0,673 г/дм³. У пробах розсолу з Закарпаття вміст Mg²⁺

складав 0,123-0,246 г/дм³, що є найменшим показником серед решти. Проте більший вміст Ca²⁺ знайдено у пробах із Закарпаття (0 м – 1,626 г/дм³; 2, 5 і 11 м – 1,829 г/дм³), порівняно із розсолон із с. Старуні, де він по всій глибині незмінний – 1,553-1,554 г/дм³. Вміст Na⁺ на 25 м глибині джерела з с. Новиця був найбільший 129 г/дм³, близько 127 г/дм³ він склав на глибині 16 м в с. Старуня і 126 г/дм³ на 11 м глибині на Закарпатті. Найнижчий показник Na⁺ зафіксовано теж у поверхневій пробі джерела на Закарпатті ~ 63 г/дм³. Усереднена поглибинна густина розсолів проб з с. Новиця складає 1,196 г/дм³, проб з с. Старуня 1,192 г/дм³, проб з с. Олександрівка – 1,173 г/дм³. Дані аніонного вмісту представлені у таблиці 1. Узагальнюючи аналітичні дані за сумою солей зазначимо, що відібрані проби розсолів є досить концентрованими, що дозволяє проводити їх випаровування з достатньо високим виходом продукту.

Отже, дослідження проб з трьох представлених соляних джерел для одержання харчової солі підтверджує значний потенціал регіону у відновленні та розвитку традиційного солевидобутку. Аналіз цих природних об'єктів навколишнього середовища підтверджує, що отримана з них сіль може використовуватися людьми у побуті. Догляд і моніторинг за належним станом джерел мають популяризуватися і контролюватися відповідними органами. Групування та об'єднання сільських громад для спільного отримання солі можуть стати ключовими факторами у розвитку місцевої економіки. Такий підхід також сприяє популяризації традиційних методів солевидобутку, що є важливою складовою культурної спадщини регіону.

Список використаних джерел

1. Kavruk V., Harding A. Salt Exploitation in the Carpathian Area // The Oxford Handbook of Mountain Archaeology, 2024. URL: https://www.academia.edu/127967362/Salt_Exploitation_in_the_Carpathian_Area (дата звернення 01.05.2026)
2. Stoeckl L., Banks V., Shekhunova S., Yakovlev Y. The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine // Journal of Hydrology: Regional Studies, 2020. V.30. 100701.
3. Szűcs E, Sándor Gönczy S., István Bozsó I., Bányai L., Szakacs A., Szárnya C., Wesztergom V. Evolution of surface deformation related to salt extraction-caused sinkholes in Solotvyno (Ukraine) revealed by Sentinel-1 radar interferometry // NHESS, 2021. V.21, Issue 3, P.977–993.
4. Pukanská K., Bartoš K., Bakoň M., et al. Multi-sensor and multi-temporal approach in monitoring of deformation zone with permanent monitoring solution and management of environmental changes: A case study of Solotvyno salt mine, Ukraine // Frontiers in Earth Science, 2023. V.11.
5. Saile T. Late Bronze Age salt production in the Carpathians and its socio-economic context // Quaternary Science Reviews, 2024. V.343. 108757.
6. Дяків В., Хевпа Р. Сучасна соляна криза в Україні та перспективи і проблеми відновлення видобутку і виробництва кам'яної, технічної, харчової солі // Вісник Львівського Університету. Серія геологічна, 2024. Вип.38., С.82-93.

НОВИЙ ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІоТ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

A NEW APPROACH TO WATER RESOURCES MONITORING USING THE INTERNET OF THINGS TO ENSURING THE ECOLOGICAL SAFETY OF WATER RESERVOIRS EXPERIENCED BY TECHNOLOGICAL IMPACT

*Кучера Я.Й., к.т.н., н.с., Садовий Ю.В. провідний інженер,
Державна установа «Державний науково-дослідний і проєктний
інститут основної хімії»,
Гулько О.М., Національний університет «Львівська політехніка»*

Анотація. У статті розглядається критичне питання екологічної безпеки на територіях, що перебувають під сильним антропогенним тиском, зосереджуючись на промисловому вузлі Калуш-Голинського родовища. Обґрунтовується необхідність впровадження інтелектуальних вимірювальних платформ для безперервного моніторингу поверхневих та підземних вод. Запропоновано комплексну архітектуру інформаційно-обчислювальної системи на основі технологій Інтернету речей (ІоТ), яка дозволить проводити прогностичний аналіз Домбровського кар'єру та навколишніх хвостосховищ.

Впровадження такого цифрового гідроекологічного двійника є важливим для своєчасного виявлення витоків, захисту транскордонних річок (Дністер) та дотримання Директиви ЄС 2006/21/ЄС щодо управління відходами.

Abstract. The article addresses the critical issue of environmental safety in territories under heavy anthropogenic

pressure, specifically focusing on the Kalush-Holyn industrial hub. It substantiates the necessity of implementing intelligent measuring platforms for the continuous monitoring of surface and groundwater. A comprehensive architecture for an information-computational system based on Internet of Things (IoT) technologies is proposed to enable predictive analysis of the Dombrovsky quarry and surrounding tailings ponds.

The implementation of such a digital hydro-ecological twin is essential for the timely detection of leaks, protection of transboundary rivers (Dnister), and compliance with the EU Directive 2006/21/EC regarding extractive waste management.

Keywords: Environmental safety, IoT, Smart Water, tailings ponds, Dombrovsky quarry, predictive monitoring, salt balance.

Стрімкий розвиток глобальної промисловості забезпечує беззаперечні переваги для повсякденного життя людства, проте цей процес супроводжується зростанням техногенного навантаження на довкілля. Функціонування індустріальних потужностей, зокрема видобувних комплексів, чинить постійний негативний вплив на стан екосистем, що безпосередньо загрожує здоров'ю людей та біорізноманіттю.

Враховуючи глобальні масштаби впливу видобутку мінеральної сировини на навколишнє середовище, світові інституції спрямовують зусилля на жорсткий контроль екологічних ризиків. На сьогодні розроблено низку міжнародних рекомендацій щодо функціонування систем екологічного менеджменту, які базуються на предиктивному аналізі та використанні технологій Інтернету речей (IoT). Саме автоматизація контролю якості води та моніторингу хімічного складу промислових об'єктів (хвостосховищ, кар'єрів та відвалів) є ключовим інструментом забезпечення сталого розвитку галузі.

Особливу актуальність це питання набуває для України в межах виконання зобов'язань за Угодою про асоціацію з Європейським Союзом. Зокрема, пріоритетним завданням є імплементація Директиви 2006/21/ЄС про управління відходами видобувної промисловості [1]. Згідно з європейськими стандартами, ефективне управління такими об'єктами, як Домбровський кар'єр чи хвостосховища Калуського промислового вузла, вимагає створення інтелектуальних систем моніторингу. Застосування автономних IoT-платформ, здатних працювати та передавати дані в режимі реального часу, є необхідним кроком для досягнення цілей екологічної безпеки та гармонізації національного законодавства з вимогами ЄС.

Відбір проб був здійснений для чотирьох глибин джерела на Закарпатті і з трьох глибин джерел Прикарпаття. Експлуатація родовищ та ведення гірничих робіт ініціюють комплекс деструктивних процесів у навколишньому середовищі: геомеханічних, гідрологічних, хімічних та температурних. Ці явища зумовлюють трансформацію рельєфу, деформацію геологічної структури масивів, а також механічні пошкодження й деградацію ґрунтового покриву, що призводить до знищення фітоценозів та появи безґрунтових територій.

Особливо гостро техногенний вплив проявляється у реконфігурації гідрографічної мережі: спостерігається суттєве погіршення якості аллювіальних вод, порушення режиму водних об'єктів, виснаження ресурсів підземних вод та деформація русел річок і водотоків. Зокрема, на прикладі Калуського гірничопромислового району, такі процеси призводять до інтенсивного засолення водоносних горизонтів та загрожують екологічній безпеці транскордонних річок. За таких умов безперервний контроль стану природного середовища, передусім водних ресурсів, стає першочерговим завданням для запобігання

екологічній катастрофі [2].

На сьогодні накопичено значні масиви даних щодо стану гідросфери, проте традиційні методи моніторингу, що базуються на дискретних спостереженнях, вичерпали свою ефективність. Актуальним викликом є створення інтелектуальної інформаційно-обчислювальної системи на основі технологій Інтернету речей (IoT), яка дозволить систематизувати дані в режимі реального часу та інтегрувати аналітичні методи для оперативної оцінки, прогнозування та управління ризиками у зонах техногенного впливу.

За роки роботи підприємств Калуського промислового вузла об'єми утворених високомінералізованих розсолів, які містять 180-350 г/дм³ солей (залежно від глибини), склали понад 50 млн. м³. Основними джерелами забруднення, що потребують негайного автоматизованого контролю, є: Домбровський кар'єр, який акумулює значні об'єми розсолів, що створює загрозу прориву та засолення р. Сівка та р. Лімниця; хвостосховища №1 та №2, де фіксується фільтрація розсолів через дамби та незадовільний стан дренажних систем; відвали розкривних порід (№1 та №2), які є постійними джерелами вимивання солей атмосферними опадами у поверхневі та підземні води.

Для Калуського промислового вузла пропонується встановлення наступних постів:

Пост «Кар'єр»: автоматична станція на понтоні для вимірювання стратифікації розсолів.

Пост «Мостище» та «Кропивник»: вимірювання виносу солей нижче за течією від хвостосховищ.

Мережа свердловин: 10-15 точок з датчиками рівня та мінералізації підземних вод.

Для забезпечення екологічної безпеки недостатньо лише збирати дані; система повинна прогнозувати розвиток

небезпечних ситуацій. У випадку Домбровського кар'єру та хвостосховищ, ключовим є розрахунок сольового балансу для запобігання переливу розсолів у водоносні горизонти.

Математична модель накопичення розсолів базується на рівнянні:

$$V=Q_{\text{атм.о.}}+Q_{\text{пов.}}+Q_{\text{пр.}}-Q_{\text{вип.}}-Q_{\text{пер.}}$$

де V - об'єм розсолів у кар'єрі;

$Q_{\text{атм.о.}}$ - атмосферні опади на дзеркало кар'єру;

$Q_{\text{пов.}}$ - поверхневий стік з бортів та прилеглих територій;

$Q_{\text{пр.}}$ - приплив підземних вод (найбільш критичний параметр для Калуша);

$Q_{\text{вип.}}$ - випаровування з поверхні;

$Q_{\text{пер.}}$ - об'єм розсолів, що відбирається для перероблення.

Використання IoT-датчиків рівня розсолів та даних метеостанцій дозволяє вводити ці параметри в систему в режимі реального часу, що забезпечує точність прогнозу рівня дзеркала розсолів на 95-98% [3].

Впровадження ІОС із застосуванням IoT дозволить створити цифрову копію гідроекологічного стану Калуського промислового регіону. Це забезпечить перехід до концепції «нульового скиду» та гарантуватиме екологічну безпеку транскордонних річок. Для виявлення прихованих витоків хвостосховищ №1 та №2 пропонується встановлення мережі датчиків Smart Water Ions у дренажних канавах та спостережних свердловинах навколо їх периметра.

Датчики загального вмісту солей та електропровідності дозволяють миттєво зафіксувати зростання мінералізації, що свідчить про порушення цілісності екрана або дамби. Інтегровані термометри компенсують вплив сезонних коливань температури на точність вимірювання електропровідності (ЕС). Оскільки відвали та хвостосховища мають значну протяжність,

використання стандартного Wi-Fi є недоцільним, тому для забезпечення передачі сигналу на відстань до 15 км за мінімального споживання енергії використовуємо технологію LoRaWAN. Використання сонячних панелей дозволяє системі працювати в умовах відсутності електромереж. Для зберігання великих масивів даних (Big Data) та виконання гідродинамічних розрахунків використовують хмарні сервіси.

Впровадження системи дозволяє не лише захистити довкілля, а й оптимізувати витрати на дослідження. Передбачається зниження експлуатаційних витрат внаслідок автоматизації збору даних, що зменшує потребу у виїзних бригадах та лабораторних аналізах на 30-40%. Система сигналізує про необхідність ремонту очисних споруд або дамб до моменту настання аварії.

Висновки. У роботі запропоновано науково обґрунтовану концепцію інтелектуальної системи моніторингу водних ресурсів для техногенно навантажених територій, що базується на інтеграції IoT-сенсорики, гідрологічного моделювання та хмарної аналітики.

Наукова новизна полягає у поєднанні балансової моделі накопичення розсолів із потоковими даними IoT-датчиків, що дозволяє в режимі реального часу оцінювати динаміку гідрогеохімічних процесів і прогнозувати критичні сценарії розвитку. Запропоновано просторово розподілену мережу моніторингу, адаптовану до специфіки калійно-сольових виробництв, яка враховує ключові джерела забруднення та канали міграції солей.

Ефективність підходу підтверджена точністю 95–98% та вищою оперативністю порівняно з аналогами. Обґрунтовано доцільність впровадження LoRaWAN та систем автономного енергозабезпечення.

Практичне значення результатів полягає у створенні цифрового інструментарію для управління екологічними ризиками, що забезпечує перехід до проактивної моделі контролю та мінімізації техногенного впливу. Запропонований підхід формує основу для масштабування на інші гірничопромислові регіони та імплементації європейських стандартів екологічної безпеки.

Список використаних джерел

1. Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the management of waste from extractive industries and amending Directive 2004/35/EC - Statement by the European Parliament, the Council and the Commission // OJL 102, 11.4.2006, p.15-33.
2. IoT in Water Quality Monitoring—Are We Really Here? / M. Miller et al. *Sensors*. 2023. Vol. 23, iss. 2. Art. 960. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23020960>.
3. IoT in Water Quality Monitoring—Are We Really Here? / M. Miller et al. *Sensors*. 2023. Vol. 23, iss. 2. Art. 960. <https://doi.org/10.3390/s23020960>.

ГІДРОДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ В РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ АКВАКУЛЬТУРНИХ СИСТЕМАХ ЯК ЧИННИК ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА РИБОПРОДУКТИВНОСТІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ МОЛОДІ ОСЕТРОВИХ

HYDRODYNAMIC REGIMES IN RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL MONITORING AND FISH PRODUCTIVITY IN STURGEON JUVENILES REARING

*Світельський М.М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент
кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття,
Житомирський державний університет імені Івана Франка,
Дунаєвська Оксана Феліксівна, доктор біологічних наук, професор
кафедри екології, Поліський національний університет,
Сокульський Ігор Миколайович, кандидат ветеринарних наук, доцент
кафедри нормальної і патологічної морфології, гігієни та експертизи,
Поліський національний університет,
Шульга В.О., магістрант 1 курсу спеціальності 207 «Водні
біоресурси та аквакультура», Житомирський державний
університет імені Івана Франка*

Анотація. Установлення систем замкнутого водопостачання (УЗВ) є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасної аквакультури. Такі системи дозволяють поєднувати високий рівень інтенсифікації вирощування риби зі значним зменшенням водоспоживання, ефективним управлінням відходами та підвищенням загальної екологічної керованості виробництва. У контексті європейської інтеграції України та гармонізації законодавства у сфері моніторингу довкілля УЗВ набувають особливої актуальності, оскільки вони є високотехнологічними об'єктами, де можливе точне контролювання практично всіх параметрів водного середовища.

Abstract. The development of recirculating aquaculture systems (RAS) represents one of the most promising directions in modern aquaculture. These systems allow combining intensive fish production with a significant reduction in water consumption and improved environmental controllability. In RAS, the hydrodynamic regime should be viewed not only as a purely technical parameter, but also as a key element of environmental monitoring of the aquatic environment.

Key words: recirculating aquaculture systems, sturgeon juveniles, hydrodynamic regime, environmental monitoring, swimming exercise, sustainable aquaculture, European integration.

У традиційних аквакультурних системах основна увага приділяється хімічним показникам води (вміст кисню, азотистих сполук, рН тощо). Водночас у сучасних рециркуляційних системах гідродинамічний режим (швидкість течії, структура потоку, турбулентність) слід розглядати не лише як технічний параметр інженерного забезпечення, а й як важливий елемент екологічного моніторингу. Гідродинаміка безпосередньо впливає на розподіл розчиненого кисню в об'ємі басейну, винесення завислих часток і продуктів метаболізму, попередження утворення застійних зон, а також на фізіологічний стан і поведінку риб [1; 3].

Вступ. Осетрові риби (Acipenseridae) належать до цінних об'єктів індустріальної аквакультури. Вирощування їхньої молоді в умовах УЗВ дозволяє отримувати високоякісний посадковий матеріал протягом усього року, незалежно від кліматичних умов. У природних умовах ранній онтогенез осетрових відбувається за наявності певної течії, яка формує їхні поведінкові реакції, плавальну активність і загальний розвиток. Тому відтворення контрольованого гідродинамічного навантаження в штучних умовах є способом імітації природних екологічних стимулів.

Мета дослідження. Метою дослідження є аналіз впливу керованих гідродинамічних режимів на рибопродуктивність молоді осетрових у установках замкнутого водопостачання, а також наукове обґрунтування доцільності включення гідродинамічних показників до системи екологічного моніторингу в аквакультурі відповідно до європейських стандартів.

Матеріали та методи. Дослідження базується на комплексному аналізі, узагальненні та критичному зіставленні наукових публікацій, присвячених функціонуванню УЗВ, екологічній стійкості рециркуляційних систем, а також впливу фізичного (плавального) навантаження на фізіологічний стан і продуктивність риб. Особливу увагу приділено роботам європейських дослідників, які розглядають УЗВ крізь призму сталого розвитку та зниження екологічного навантаження на довкілля.

Результати та обговорення. Аналіз літературних джерел показав, що установки замкнутого водопостачання мають істотний потенціал для зменшення екологічного навантаження відповідно до традиційних систем вирощування, залишають можливість істотно скорочувати використання води, контролювати видалення відходів і підвищувати загальну керованість виробництва. Проте ефективність таких систем створюється не лише роботою біофільтрації чи аерації, а й просторовою організацією водного потоку в рибницьких ємностях, бо саме течія забезпечує перенесення кисню, кормових часток і обміну продуктів.

За даними узагальнених фізіолого-біохімічних досліджень, помірне тривале плавальне навантаження в рибі часто супроводжується посиленням росту м'язової тканини та покращенням якісних характеристик продукту. Це дає підстави

вважати, що для молоді осередків у контрольованих умовах УЗВ правильно підібрана швидкість течії може змінювати стимулювальну функцію. Крім того, кажучи, гідродинамічний режим у таких системах не зводиться до механічного перемішування води, а стає регульованим екологічним фактором, який впливає на інтенсивність метаболізму, харчову активність і зростання темпів.

Не менш важливо, що керований водний потік пов'язаний із параметрами екологічного моніторингу. За наявності достатньої швидкості течії знижується ризик утворення застійних зон, покращується винесення фекалій та нез'їденого корму, стабілізується розподіл розчиненої кисню в об'ємному басейні. У практичному аспекті це означає, що гідродинамічні показники можна використовувати як інтегральні критерії оцінки екологічного стану водного середовища в УЗВ, поряд із традиційними гідрохімічними показниками.

Окремо варто підкреслити, що європейські підходи до розвитку рециркуляційної аквакультури орієнтовані не лише на продуктивність, а й на мінімізацію екологічного сліду виробництва, включаючи ефективне управління відходами, енерговитратами та водними ресурсами. У цьому контексті оптимізація гідродинаміки має подвійне значення. З одного боку, вона сприяє кращим зростанням показників молоді осетрових, а з іншого — надійність екологічного контролю в центральних системах, що робить її важливою складовою сучасної технології вирощування. Таким чином, для осетрових риб керований гідродинамічний режим доцільно розглядати як поєднання технологічного та моніторингового інструменту. Це особливо актуально для науково-практичних робіт, присвячених гармонізації екологічного моніторингу з європейськими принципами сталого природокористування, оскільки УЗВ є

моделлю середовища, де такі підходи можуть бути реалізовані найбільш повно.

Висновки. Керований гідродинамічний режим в установках замкнутого водопостачання є багатофункціональним чинником, який одночасно впливає на продуктивність молоді осетрових та екологічний стан водного середовища. Оптимізацію параметрів течії та структури потоку доцільно розглядати як невід’ємну складову системи екологічного моніторингу в аквакультурі. Такий підхід відповідає принципам сталого розвитку, європейським стандартам охорони довкілля та завданням гармонізації українського законодавства у сфері моніторингу об’єктів навколишнього середовища.

Подальші науково-практичні дослідження мають бути спрямовані на розробку конкретних нормативів гідродинамічних параметрів для різних вікових груп осетрових у УЗВ, створення відповідних сенсорних систем моніторингу та інтеграцію цих показників у загальну систему екологічного контролю.

Список використаних джерел

1. Badiola M., Mendiola D., Bostock J. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges // Aquacultural Engineering. 2012. Vol. 51. P. 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>
2. Martins C.I.M., Eding E.H., Verdegem M.C.J. та ін. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability // Aquacultural Engineering. 2010. Vol. 43, Iss. 3. P. 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>
3. Palstra A.P., Planas J.V. Fish under exercise // Fish Physiology and Biochemistry. 2011. Vol. 37, Iss. 2. P. 259–272. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9505-0>

РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ТА РЕВАЙЛДИНГ АНТРОПОГЕННО ПОРУШЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ МІСТА КРЕМЕНЧУК

RECLAIMING AND REWILDING OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED TERRITORIES OF THE GREEN ZONE OF THE CITY OF KREMENCHUK

*Мельник Є. Є., канд. с.-г. наук., старший дослідник
Український науково-дослідний інститут лісового господарства та
агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків,
Бондар О. Б., канд. с.-г. наук., доцент
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль,
wudckij@gmail.com*

Наведено результати досліджень основних способів з відновлення та оприроднення (ревайлдинг) промислових та природних об'єктів зеленої зони великого промислового міста Кременчук. Зроблено порівняння та наведена доцільність таких заходів на досліджуваній території.

Ключові слова: біорізноманіття, Лісостеп, природне відновлення.

The results of research into the main methods for the restoration and naturalization (rewilding) of industrial and natural objects in the green zone of the large industrial city of Kremenchuk are presented. A comparison is made and the feasibility of such measures in the studied area is presented.

Keywords: biodiversity, Forest-Steppe, natural regeneration.

Посилений антропогенний вплив на різні природні об'єкти в Україні є досить поширеним явищем. Внаслідок цього постійно утворюються великі площі порушених або повністю змінених

природних територій. Слід також зазначити, що в останні роки значний вплив на природу спричиняють активні бойові дії, що тривають на значній території держави. Від дії цих факторів можуть страждати фактично будь-які компоненти географічного ландшафту: ліси, степи, торфовища, сільськогосподарські угіддя та заплави річок.

Серед підходів до відновлення довкілля, які застосовують для подолання наслідків людської діяльності та повернення життєздатності деградованим територіям, нині виділяють рекультивацію та ревайлдинг [1, 2, 3]. Ці підходи є взаємодоповнюючими, проте головна відмінність між ними полягає у кінцевій меті: рекультивація повертає землю у господарське або безпечне користування, тоді як ревайлдинг повністю віддає її дикій природі для саморегуляції.

Рекультивація – це передусім комплекс інженерних, технічних та біологічних заходів, спрямованих на відновлення родючості ґрунтів і покращення стану порушених земель [1, 2]. Зазвичай її застосовують на кар'єрах, сміттєзвалищах, промислових зонах та шахтах. Роботи проводяться поетапно, включаючи технічні процеси (вирівнювання рельєфу, засипання провалів, нанесення родючого шару) та біологічні процеси (посів трав, висаджування дерев для стабілізації ґрунту). Як результат, покращуються умови для подальшого використання земель під лісове господарство, агрокультуру або рекреаційні зони [1, 2].

Ревайлдинг (оприроднення) – це природоохоронна концепція, яка передбачає відновлення характерних для регіону екосистем через повернення диких тварин та мінімізацію людського втручання [3]. Його застосовують на виснажених сільськогосподарських угіддях, покинутих територіях або в межах природних заповідників. Основні інструменти включають відновлення природного русла річок, припинення косіння трав та

реінтродукцію великих травоїдних чи інших тварин, що забезпечує поступове утворення самодостатньої екосистеми [2, 3].

Рекультивація та ревайлдинг можуть виконуватися послідовно в межах одного екологічного проєкту. Наприклад, після закриття промислового кар'єру спершу проводять технічну рекультивацію (укріплюють схили та вирівнюють рельєф), а потім реалізують ревайлдинг – заселяють місцеві види рослин і комах, дозволяючи території зарости природним шляхом і перетворитися на дикий куточок [2, 3].

Застосування цих підходів для степової зони України в районі Кременчука (Полтавщина) має специфічний контекст. Регіон поєднує високе промислове навантаження, масштабний видобуток копалин у кар'єрах та значний рівень розораності степових земель [4–7]. За даними Головного управління статистики у Полтавській області, у 2022 році від стаціонарних джерел забруднення повітря надійшло 25,8 тис. т забруднюючих речовин (без урахування викидів діоксиду вуглецю). Основними забруднювачами є підприємства міст Кременчук та Горішні Плавні, причому на Кременчук припадало 27,4 % усіх викидів. У Кременчуцькому районі зафіксовано найвищі показники в області – 74 кг на одного мешканця [4, 5], що підкреслює необхідність збільшення кількості природних об'єктів для очищення та покращення повітря.

У районі функціонує ряд основних промислових підприємств, які створюють відходи протягом десятиліть, водночас стан довкілля в громаді залишається відносно стабільним [6]. Для відновлення балансу зелених зон міста Кременчук необхідно зосередитися на двох напрямках: 1) рекультивації промислових зон та 2) ревайлдингу залишків степу і малих річок.

Площа навколо Кременчука очолює область за обсягами промислових відходів, тому головний акцент слід зробити на відновленні штучно зруйнованих територій [2, 4, 5]. Велика кількість гранітних кар'єрів (Малокохнівський, «Кварц», Крюківський тощо), де видобувають мільйони тон буту та щебню, потребує технічної рекультивації: вирівнювання уступів, терасування, засипка гранвідсівом. Наступним етапом є біологічне відновлення: нанесення шару ґрунту та висаджування специфічних чагарників і дерев, здатних зупиняти вітрову ерозію. Затоплені кар'єри часто перетворюють на штучні озера або рекреаційні зони. Особливу увагу слід приділити міському сміттєзвалищу, яке практично вичерпало ресурс; проект рекультивації передбачає ізоляційне покриття, примусове відведення біогазу, засипку чистим ґрунтом та висадку багаторічних трав із глибокою кореневою системою [2, 5, 6].

Ревайлдинг степу та річкових долин є актуальним через фактичне знищення агровиробництвом значної частини степової зони. Природне відновлення степових схилів, балок і полів (які стали непридатними для сільськогосподарського використання) здійснюється через консервацію земель, а потім методом ревайлдингу повертаються типові види рослинності. Критично важливо припинити косіння та випалювання рослин, що дозволяє реінтродукувати птахів, тварин та комах, які розпушують ґрунт і змінюють його водний режим.

Для малих річок (р. Сухий Кагамлик та Крива Руда) забруднених і замулених все це передбачає знесення незаконних дамб, припинення розорювання прибережних захисних смуг і висадку заплавлених лук. Це сприятиме природному біофільтру для очищення води перед її потраплянням у Дніпро.

Висновки. Для відновлення екології Кременчука необхідний комплексний підхід, що поєднує технічно-біологічну

рекультивуацію промислових об'єктів та ревайлдинг природних степів і малих річок. Реалізація цих кроків мінімізує екологічні ризики промислового навантаження та створює стійкий природний каркас для здорової екології.

Список використаних джерел

1. Панас Р. Н. Рекультивація земель: навч. посібник. Львів, 2003. 224 ст.
2. Snitynskyi B., Ivankiv M., Kachmar H. ., Datsko T., Dydiv A., & Horodyska I. Principles of reclamation and phytomelioration of devastated landscapes. Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy, 2023. V.27, P. 13–21. <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.013><https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.013>
3. Грабар М. В., Сіденко Н. О. Ревайлдинг: ідеологічні засади та перспективи розвитку через туристичну діяльність. Причорноморські економічні студії. 2019. Вип. 45. Ст. 109-113 http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2019_45_22
4. ЗВІТ ПРО СТРАТЕГІЧНУ ЕКОЛОГІЧНУ ОЦІНКУ ДОКУМЕНТА ДЕРЖАВНОГО ПЛАНУВАННЯ. Програми економічного і соціального розвитку Кременчуцької міської територіальної громади на 2024 рік. Полтава 2023
5. Стратегія розвитку Полтавської області на 2021-2027 роки та План заходів на 2021-2023 роки з її реалізації. Режим доступу: <https://oblrada.kr.ua/decission/2565/pro-strategiyu-rozvitku-kirovogradskoi-oblasti-na2021-2027-roki-17-03-2020>
6. Екологічний паспорт Полтавської за 2022 рік. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1KLipM65lOHcBVzrxG_SCqyK8zMzmzu46/view
7. Огляд стану довкілля Полтавської області. III квартал 2023 року. Департамент екології та природних ресурсів Полтавської обласної військової адміністрації. Відділ організаційної роботи, звітності та зв'язків з громадськістю. Полтава: 2022, 19 стр. <https://poda.gov.ua/news/161566>.

МОНІТОРИНГ АГРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЛУЧНИХ ОСУШЕНИХ ҐРУНТІВ МЕЛІОРАТИВНОЇ СИСТЕМИ «СНЯТИНСЬКА» ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

MONITORING OF THE AGROCHEMICAL CONDITION OF DRAINED MEADOW SOILS OF THE “SNYATYNSKA” RECLAMATION SYSTEM OF THE IVANO-FRANKIVSK REGION

*Карбівська У.М., доктор сільськогосподарських наук, професор
кафедри лісового і аграрного менеджменту Карпатського
національного університету імені Василя Стефаника*

*Турак О.Д., викладач кафедри лісового і аграрного менеджменту
Карпатського національного університету імені Василя Стефаника*

У сучасних умовах моніторингові дослідження виступають ключовим і найбільш надійним джерелом об'єктивної інформації, яка є основою для формування ефективних науково обґрунтованих рішень у сільськогосподарському виробництві та екологічному менеджменті. Тому осушені ґрунти меліоративних систем є важливим резервом підвищення продуктивності сільського господарства в Україні, зокрема в Передкарпатті. У сучасних умовах зміни клімату, інтенсифікації землеробства та вимог сталого розвитку особливо важливим стає систематичний моніторинг агрохімічного стану таких ґрунтів. Дослідження динаміки їхніх властивостей протягом тривалого періоду дозволяє оцінити ефективність меліорації, виявити негативні тенденції та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо збереження та підвищення родючості осушених земель [1].

Актуальність досліджень меліорації надмірно зволжених ґрунтів Івано-Франківської області зумовлена необхідністю підвищення ефективності використання гідроморфних земель та

збільшення продуктивності сільськогосподарських угідь. Зважаючи на значну площу осушених земель у регіоні, пріоритетного значення набуває детальне вивчення ґрунтових процесів, що відбуваються під дією осушувальної меліорації, удобрення та різних агротехнічних прийомів [2; 3]. Для проведення моніторингових досліджень осушених ґрунтів як об'єкт спостереження було обрано та науково обґрунтовано гідромеліоративну систему «Снятинська», яка розташована у південно-східній частині Івано-Франківської області. Дана система є репрезентативною для Коломийсько-Чернівецької алювіальної долини річки Прут.

За результатами моніторингових досліджень, проведених у період 2011–2021 років, на території меліоративної системи «Снятинська» встановлено чітку негативну тенденцію до підкислення ґрунтів. Зокрема, площа нейтральних та близьких до нейтральних ґрунтів (рН 6,6–7,2) зменшилася на 1100 га. Водночас на таку ж площу (1100 га) збільшилася частка слабокислих ґрунтів (рН 5,6–6,5).

У лучних ґрунтах за період спостережень вміст органічної речовини знизився з 3,60 до 3,13 %. Таке зменшення зумовлене комплексом антропогенних факторів, серед яких: інтенсивне сільськогосподарське використання земель, недостатнє внесення органічних і органо-мінеральних добрив, низький рівень культури землеробства та відсутність систематичного поповнення запасів органічної речовини. Виявлена динаміка реакції ґрунтового середовища свідчить про поступову деградацію агроекологічного потенціалу осушених земель у разі відсутності систематичних заходів хімічної меліорації (вапнування) та оптимізації водно-повітряного й поживного режимів.

Серед елементів мінерального живлення рослин провідне

місце за значенням і кількістю виносу з урожаєм посідає азот. Основним резервуаром ґрунтового азоту є органічна речовина, яка містить 97–99 % його загальних запасів. За результатами досліджень, вміст мінеральних форм азоту (нітратного + аміачного) у верхньому горизонті ґрунту зменшився з 96 до 85 мг/кг сухого ґрунту. Отримані значення свідчать про дуже низький, критично недостатній рівень забезпеченості рослин доступним азотом. Головною причиною такого зниження є висока рухомість мінеральних форм азоту, їх добра розчинність у воді та інтенсивне вимивання дренажним стоком за межі кореневмісного шару.

Аналіз динаміки рухомих форм фосфору виявив його зменшення з 68 до 41 мг/кг. Така негативна тенденція підкреслює необхідність розроблення та впровадження диференційованої системи фосфорного удобрення з обов'язковим урахуванням актуального рівня кислотності, гранулометричного складу, ступеня окультуреності та інтенсивності дренажного стоку на конкретних ділянках. Вміст рухомого калію в ґрунтах досліджуваної території коливався в межах 90–149 мг/кг. За період моніторингу його середній вміст знизився на 9–10 мг/кг. За результатами десятирічного моніторингу встановлено негативну динаміку агрохімічного стану осушених ґрунтів меліоративної системи «Снятинська». Виявлено підкислення ґрунтів, зменшення вмісту органічної речовини, а також зниження забезпеченості доступними формами азоту, фосфору та калію. Це свідчить про поступову деградацію родючості ґрунтів. Для її зупинення необхідне впровадження систематичного вапнування, оптимізованого удобрення та вдосконалення сівозмін.

Список використаних джерел

1. Волощук М.Д., Карбівська У.М., Мількевич С.Я., Мельник І.Д. Екологічний моніторинг осушених земель Коломийсько-Чернівецької алювіальної рівнини ріки Прут. *Науковий вісник Чернівецького національного університету*. 2012. Т.4. В.3. Чернівці. 2012. С.257–262.
2. Гладких Є.Ю., Ревтьє-Уварова А.В., Панасенко Є.В. Сезонна динаміка елементів живлення в ґрунті та їх співвідношення залежно від гідротермічних умов року. *Вісник аграрної науки*. 2018. №2. С.5–12.
3. Заришняк А.С., Сипко А.О., Стрілець О.П. та інші. Відтворення і регулювання родючості кислих ґрунтів в умовах Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2018. №3. С.5–13.

МОНІТОРИНГ ЗМІН РОСЛИННИХ ПАРАМЕТРІВ БУРКУНУ, СОРГО, ПРОСА В ПРОЦЕСІ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

MONITORING OF CHANGES IN PLANT PARAMETERS OF MELILOTUS, SORGHUM, MILLET IN THE PROCESS OF PHYTOREMEDIATION OF OIL- CONTAMINATED SOILS

*Романюк О.І., кандидат хімічних наук, старший науковий
співробітник,*

Шевчик-Костюк Л.З., кандидат біологічних наук,

Романюк Г.В., кандидат хімічних наук, доцент

*Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної
хімії і вуглехімії ім.Л.М.Литвиненка НАН України*

Abstract. When monitoring changes in plant parameters during phytoremediation of oil-contaminated soils, it was found that in oil-contaminated and control soils at the initial stages of growth (20-30 days), melilotus plants grow and develop better in mixed crops. On days 60 and 90, higher growth parameters were observed in the melilotus plants grown singly compared to the melilotus plants grown in mixed crops. In combined crops of melilotus with millet, a positive effect of melilotus on the growth parameters of millet was noted. Melilotus do not have a significant impact on sorghum growth rates. It was found that the dry matter content in sorghum and millet plants in mixed and single crops on oil-contaminated soils is higher than the indicators of plants on clean soil.

Одним з кращих методів відновлення забруднених і пошкоджених ґрунтів є фіторемедіація. Важливим і складним завданням є підбір рослин – фіторемедіантів для кожного конкретного випадку забруднення. При комплексному

забрудненні успішність застосування фіторемедіаційних технологій лімітується нафтовим забрудненням. Гідрофобність і висока токсичність нафти та нафтопродуктів ускладнюють або і роблять неможливим ріст більшості рослин.

Попередніми дослідженнями встановлено, що буркун, сорго, просо можуть бути фіторемедіантами нафтозабруднених ґрунтів. Завданням дослідження був моніторинг змін рослинних параметрів буркуну, сорго і проса в поодиноких та сумісних посівах при проведенні фіторемедіації ґрунту, забрудненого 5% нафти.

Встановлено, що на початкових етапах росту (20-30доба), рослини буркуну краще ростуть і розвиваються у сумісних посівах. Подальший ріст проса та сорго дещо пригнічує ріст буркуну. На 60 та 90 добу відмічено вищі ростові параметри буркуну, який зростав поодиноким, в порівнянні з рослинами буркуну, який зростав у сумісних посівах. Таку тенденцію спостерігали у контрольному та нафтозабрудненому ґрунтах (рис. 1).

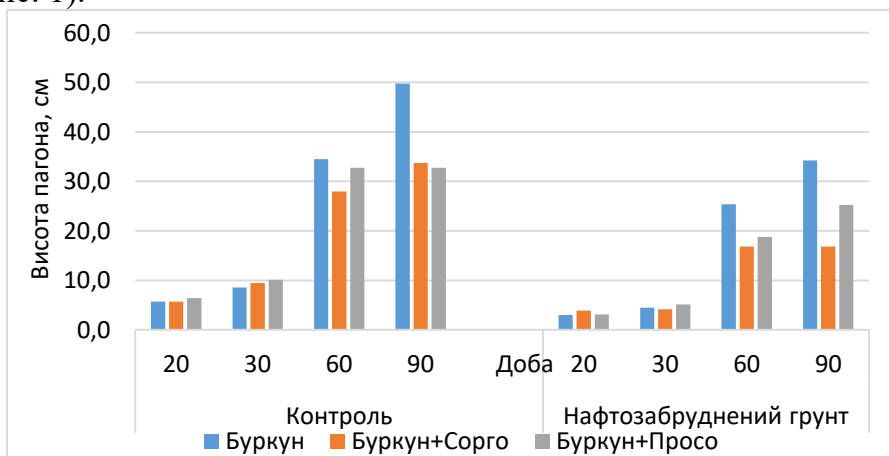


Рис.1. Висота пагона буркуну жовтого у поодиноких і сумісних посівах зі сорго та просом

Рослини буркуну жовтого не чинять істотного впливу на ростові показники сорго (рис.2).

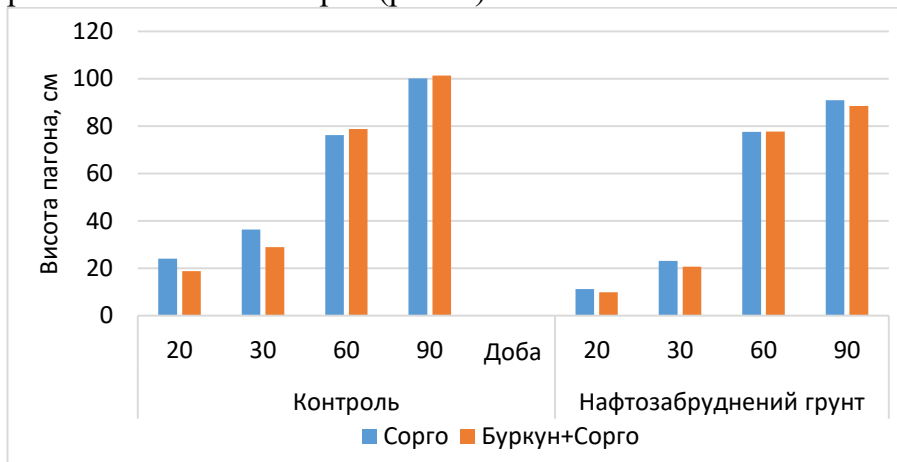


Рис. 2. Висота пагона сорго у поодиноких та сумісних посівах з буркунном

У сумісних посівах буркуну з просом відзначено позитивний вплив буркуну на ростові параметри проса (рис. 3).

Визначено вміст сухої речовини у рослинах буркуну, сорго та проса, які росли поодинокі та в сумісних посівах на незабрудненому та забрудненому нафтою ґрунтах (табл.1).

Встановлено, що вміст сухої речовини у рослинах буркуну, котрі зростали на нафтозабрудненому ґрунті поодинокі, майже не відрізнявся від контролю. Сумісний посів буркуну з просом та буркуну з сорго сприяє збільшенню вмісту сухої речовини у рослинах буркуну. Найвищий відсоток сухої речовини у рослинах буркуну спостерігали у варіанті буркун+сорго, причому на нафтозабрудненому ґрунті він був на 1,16% більший, ніж у контролі.

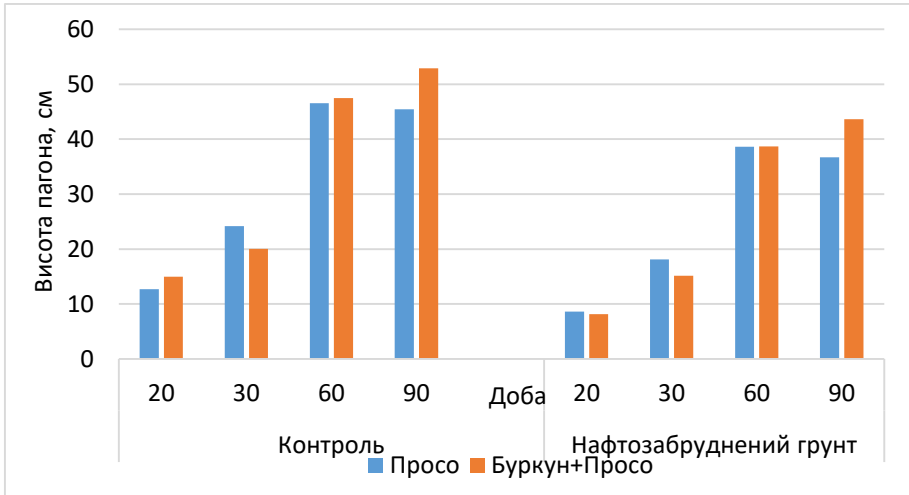


Рис.3. Висота пагона проса у поодиноких та сумісних посівах з буркуном.

Таблиця 1.

Вміст сухої речовини у рослинах буркуну, сорго та проса у сумісних та поодиноких посівах

Варіанти	Вміст сухої речовини у рослинах, %	
	Контроль	Нафтозабруднений ґрунт
Буркун		
Буркун	19,03	19,35
Буркун+Сорго	21,06	22,22
Буркун+Просо	20,81	20,76
Сорго		
Сорго	27,11	29,97
Буркун+Сорго	24,20	29,96
Просо		
Просо	26,35	31,07
Буркун+Просо	22,86	27,76

У незабрудненому ґрунті, сумісний посів сорго з буркуном, проса з буркуном, зменшував відсоток сухої речовини у злакових, що, скоріш за все, пов'язано з міжвидовою конкуренцією за ресурси живлення. Вміст сухої речовини у рослинах сорго та проса у сумісних та поодиноких посівах на нафтозабруднених ґрунтах був вищим за показники рослин на чистому ґрунті.

ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД ЯК ДОБРИВА

ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL JUSTIFICATION OF WASTEWATER SEDIMENT USED AS FERTILIZER

*Гришуляк Галина Михайлівна,
Лопушняк Василь Іванович,*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і
газу*

Анотація. У роботі розглянуто еколого-агрохімічне обґрунтування застосування осаду стічних вод як альтернативного органічного добрива для вирощування фітоенергетичних культур. Актуальність теми зумовлена необхідністю раціонального використання органічних відходів, підвищення родючості деградованих і малопродуктивних ґрунтів, а також розвитком біоенергетичного напрямку в умовах сталого природокористування. Особливу увагу приділено можливості використання осаду стічних вод і компостів на його основі для удобрення таких культур, як верба енергетична, міскантус, світчґрас, сільфія пронизанолиста та топінамбур.

У дослідженні висвітлено вплив осаду стічних вод на агрохімічні, фізико-хімічні та біологічні властивості дерново-підзолистого ґрунту, а також на формування біомаси фітоенергетичних культур. Встановлено, що осад є цінним джерелом органічної речовини, макро- і мікроелементів, однак його застосування потребує обов'язкового екологічного контролю через можливий вміст важких металів, патогенних мікроорганізмів та інших забруднювачів. Більш екологічно безпечним і доцільним визначено використання компостованих форм осаду, зокрема з додаванням соломи, що сприяє стабілізації органічної речовини,

зменшенню фітотоксичності та зниженню ризиків забруднення ґрунтового середовища. Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні можливості залучення осаду стічних вод до повторного господарського використання, що дає змогу зменшити навантаження на очисні споруди, підвищити продуктивність енергетичних культур і частково замінити традиційні мінеральні добрива. Запропонований підхід відповідає принципам циркулярної економіки, ресурсозбереження та екологічно безпечного біоенергетичного рослинництва.

Ключові слова: осад стічних вод, органічне добриво, фітоенергетичні культури, дерново-підзолистий ґрунт, агрохімічні властивості ґрунту, важкі метали, компостування, біомаса, екологічна безпека, циркулярна економіка, сталий розвиток.

Abstract. The paper examines the ecological and agrochemical rationale for using sewage sludge as an alternative organic fertilizer for growing phytoenergy crops. The topicality of the topic is due to the need for rational use of organic waste, increasing the fertility of degraded and unproductive soils, as well as the development of the bioenergy direction in conditions of sustainable nature management. Special attention is paid to the possibility of using sewage sludge and composts based on it for fertilizing such crops as energy willow, miscanthus, switchgrass, *Silphium sylvaticum*, and Jerusalem artichoke. The study highlights the influence of sewage sludge on the agrochemical, physicochemical and biological properties of turf-podzolic soil, as well as on the formation of biomass of phytoenergy crops. It has been established that sediment is a valuable source of organic matter, macro- and microelements, but its use requires mandatory environmental control due to the possible content of heavy metals, pathogenic microorganisms and other pollutants. The use of

composted forms of sediment, in particular with the addition of straw, which contributes to the stabilization of organic matter, reduction of phytotoxicity and reduction of soil pollution risks, is determined to be more ecologically safe and expedient. The practical significance of the work consists in substantiating the possibility of attracting sewage sludge to economic reuse, which makes it possible to reduce the load on sewage treatment plants, increase the productivity of energy crops and partially replace traditional mineral fertilizers. The proposed approach corresponds to the principles of circular economy, resource conservation and ecologically safe bioenergy crop production.

Keywords: sewage sediment, organic fertilizer, phytoenergy crops, seed-pidosele soil, agrochemical properties of soil, heavy metals, composting, biomass, environmental safety, circular economy, sustainable development.

Сучасні екологічні виклики, пов'язані зі зміною клімату, деградацією ґрунтового покриву, накопиченням органічних відходів та необхідністю розвитку відновлюваних джерел енергії, зумовлюють потребу в пошуку нових підходів до раціонального використання природних і техногенних ресурсів. Одним із перспективних напрямів є вирощування фітоенергетичних культур, які здатні формувати значну кількість біомаси та можуть використовуватися як сировина для виробництва біопалива. До таких культур належать верба енергетична, міскантус, світчграс, сільфія пронизаноліста та топінамбур. Їх вирощування є особливо актуальним на малопродуктивних, деградованих і техногенно навантажених ґрунтах, оскільки ці культури не лише забезпечують отримання енергетичної біомаси, а й сприяють стабілізації екологічного стану ґрунтового середовища, накопиченню органічної речовини та підвищенню стійкості агроecosystem [1,2].

Важливою умовою ефективного вирощування фітоенергетичних культур є забезпечення їх елементами живлення. У зв'язку з дефіцитом традиційних органічних добрив актуальним стає використання альтернативних органічних ресурсів, серед яких значний інтерес становить осад стічних вод. Осад стічних вод містить органічну речовину, азот, фосфор, калій та інші макро- і мікроелементи, тому може розглядатися як потенційне добриво. Водночас його застосування потребує обов'язкового екологічного контролю, оскільки у складі осаду можуть бути важкі метали, патогенні мікроорганізми та інші забруднювальні речовини. Саме тому використання осаду стічних вод у сільському господарстві має ґрунтуватися на комплексній еколого-агрохімічній оцінці, яка враховує не лише вплив на продуктивність культур, а й можливі ризики для ґрунту, рослин і довкілля.

У межах дослідження важливим є визначення хімічного складу осаду стічних вод, оцінювання його впливу на агрохімічні, фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту, встановлення закономірностей міграції важких металів у системі «ґрунт — рослина», а також визначення впливу різних доз осаду та компостів на формування біомаси енергетичних культур. Особливе значення має також оцінювання економічної та енергетичної ефективності таких технологій, оскільки їх практичне впровадження повинно бути не лише екологічно безпечним, а й економічно доцільним [1,3].

У результаті дослідження встановлено, що осад стічних вод має значний ресурсний потенціал як джерело органічної речовини та поживних елементів для фітоенергетичних культур. Його застосування сприяє покращенню поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту, підвищенню вмісту доступних форм елементів живлення та активізації процесів формування

рослинної біомаси. Водночас пряме внесення свіжого осаду потребує обережності через можливі екологічні ризики, насамперед пов'язані з накопиченням важких металів у ґрунті та рослинній масі. У зв'язку з цим більш екологічно доцільним є використання компостів, виготовлених на основі осаду стічних вод із додаванням органічних матеріалів, зокрема соломи. Компостування сприяє стабілізації органічної речовини, зменшенню фітотоксичності та зниженню ризиків забруднення ґрунтового середовища [1].

Внесення осаду стічних вод і компостів на його основі впливає на фізико-хімічні властивості ґрунту, його гумусовий стан, поживний режим, біологічну активність і загальний екологічний стан. За раціонального використання осаду можливо не лише підвищити продуктивність фітоенергетичних культур, а й частково відновити екологічні функції деградованих ґрунтів. Особливо важливим є те, що фітоенергетичні культури не використовуються для харчових або кормових цілей, тому їх вирощування з використанням альтернативних органічних добрив є менш ризикованим порівняно з продовольчими культурами. Однак це не зменшує необхідності постійного моніторингу вмісту важких металів, фітотоксичності та стану ґрунтової біоти [1].

Фітоенергетичні культури мають різну здатність до накопичення важких металів, що необхідно враховувати під час вибору культури для конкретних ґрунтово-екологічних умов. Верба енергетична, міскантус, світчграс, сільфія пронизанолиста та топінамбур характеризуються високим потенціалом формування біомаси, однак їхня реакція на внесення осаду стічних вод може відрізнятися залежно від дози добрива, складу ґрунту, рівня забруднення та тривалості використання ділянки. Тому застосування осаду стічних вод повинно супроводжуватися

науково обґрунтованим добором культур, норм внесення та способів підготовки добривного матеріалу [3].

Окреме значення має можливість використання фітоенергетичних культур у заходах ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів. Такі культури можуть сприяти стабілізації забруднених територій, зменшенню міграції поліутантів, накопиченню органічної речовини та поступовому відновленню ґрунтового покриву. У цьому контексті вирощування енергетичних культур поєднує природоохоронну, агроекологічну та енергетичну функції, що відповідає принципам сталого розвитку й циркулярної економіки [2].

Дослідження полягає у комплексному обґрунтуванні еколого-агрохімічної ефективності застосування осаду стічних вод як добрива під фітоенергетичні культури. Встановлено закономірності впливу осаду та компостів на його основі на агрохімічні, біологічні й екологічні характеристики дерново-підзолистого ґрунту. Удосконалено підходи до системи живлення фітоенергетичних культур з урахуванням впливу осаду стічних вод на гумусовий стан ґрунту, біологічну активність, фітотоксичність і міграцію важких металів [1,3].

Практичне значення результатів полягає в можливості використання осаду стічних вод як альтернативного органічного добрива для вирощування фітоенергетичних культур. Такий підхід дозволяє одночасно вирішувати кілька важливих завдань: зменшувати обсяги накопичення осаду на очисних спорудах, покращувати родючість малопродуктивних ґрунтів, отримувати біомасу для енергетичних потреб і знижувати залежність від традиційних мінеральних добрив. Найбільш перспективним є застосування компостів на основі осаду стічних вод і соломи, оскільки вони мають нижчі екологічні ризики та позитивно впливають на накопичення сухої маси фітоенергетичних культур.

З екологічної точки зору застосування осаду стічних вод потребує системного моніторингу. Перед внесенням необхідно визначати його хімічний склад, вміст органічної речовини, поживних елементів і важких металів. Після внесення слід контролювати зміни агрохімічних показників ґрунту, активність мікробіологічних процесів, рівень фітотоксичності та можливе накопичення забруднювачів у рослинній масі. Дотримання цих умов дає змогу мінімізувати екологічні ризики та забезпечити безпечне використання осаду стічних вод у біоенергетичному рослинництві.

Вирощування фітоенергетичних культур із використанням осаду стічних вод має також важливе енергетичне та економічне значення. Біомаса таких культур може бути використана для виробництва теплової енергії, твердого біопалива або як сировина для інших біоенергетичних технологій. Осад стічних вод при цьому виконує роль джерела поживних речовин, що дозволяє частково зменшити потребу в мінеральних добривах. Економічна ефективність технології пов'язана з підвищенням урожайності біомаси, використанням малопродуктивних земель і можливістю залучення органічних відходів до повторного господарського обігу.

Осад стічних вод може розглядатися як перспективний ресурс для удобрення фітоенергетичних культур за умови дотримання екологічно безпечних норм і технологій внесення. Його використання сприяє покращенню поживного режиму ґрунту, підвищенню продуктивності енергетичних культур і раціональному поводженню з органічними відходами. Найбільш доцільним є застосування компостованих форм осаду, оскільки вони забезпечують стабільніший агрохімічний ефект і знижують ризики забруднення ґрунту важкими металами. Фітоенергетичні культури є перспективними для вирощування на дерново-

підзолистих, деградованих і техногенно навантажених ґрунтах, оскільки поєднують високу продуктивність із потенціалом екологічної стабілізації територій. Застосування осаду стічних вод у біоенергетичному рослинництві відповідає принципам сталого природокористування, ресурсозбереження та циркулярної економіки.

Список використаних джерел

1. Lopushniak V., Hrytsuliak H. Agrochemical properties of sod-podzolic soil for fertilizer application during the cultivation of cup plant silphium perfoliatum. *Achievements and prospects of modern scientific research* : Abstracts of III International scientific and practical conference. Buenos Aires, 2021. P. 7–9.
2. Lopushniak V., Hrytsuliak H., Lopushniak G. Statistical analysis of the experimental data on the content of heavy metals in sod-podzolic soils, depending on the introduction of sewage sludge under energy willow. *Indian Academicians and Researchers Association* : International e-Conference on Research and Development in Science, Technology and management in the Current Era. India, 2021. P. 33–41..
3. Lopushniak V., Hrytsuliak H., Chupa V., Fedorko N. Overview of the Current. *Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів* : Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф, 23-25 листопада. Київ, 2021. С. 79–89. DOI: 10.33730/2310-4678.1.2019.170592

МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ ПОБЛИЗУ АЗС

MONITORING SOIL CONTAMINATION NEAR GAS STATIONS

M.R. Liaskovska^{1,2}, PhD in Chemistry

H.M. Hrytsuliak² Doctor of Agricultural Sciences

A. O. Kotsyubynsky² PhD of physical and mathematical sciences

D. O. Lynnyk² student

*¹Department of Biological and Medical Chemistry named after
Academician G.O. Babenko, Ivano-Frankivsk National Medical University,
Halytska Str. 2, 76018 Ivano-Frankivsk, Ukraine,*

mliaskovska@ifnmu.edu.ua

*²Department of Environmental Protection Technology and Occupational
Safety, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk Oblast, 76000, Ivano-Frankivsk,
Ukraine, halyna.hrytsuliak@nung.edu.ua*

Cars are an integral attribute of the modern world, and gas stations have become one of the key sectors of the Ukrainian economy. However, the operation of cars and automobile fuel is accompanied by a significant man-made load on the environment. A particular environmental hazard is soil contamination with heavy metals, hydrocarbons and toxic chemical compounds contained in automobile fuel. Analysis of the soil cover in the area of the gas station at a depth of 25 cm showed the presence of a significant amount of heavy metals that affect soil fertility, public health and the ecosystem as a whole.

Quantitative analysis of the elemental composition of soils was carried out in the territories of three automobile gas stations on the H10 highway. Samples were taken 3 m from the underground fuel tank at a depth of 25 cm. The analysis was carried out using instrumental methods of analysis, X-ray fluorescence analysis of the soil/ Oxygen,

magnesium, aluminum, silicon, phosphorus, potassium, calcium are typical elements of the soil composition, where silicon oxide dominates, which is typical for sand-quartz rocks of the geological section. Elements (O, Si, Al, Fe) are within the limits of typical clarks (average content) for the lithosphere. For example, the iron (Fe) content of 1.58–2.95% is normal for most types of soils in Ukraine. The environmental hazard represented by the detected concentrations of heavy metals and toxic elements. In particular, the presence of strontium and arsenic ions is especially dangerous even in small quantities. Nickel is present in all samples, and there is a tendency to increase the content of nickel, copper, gallium, arsenic, rubidium in the series № 2>№ 1>№ 3 in proportion to the increase in the iron content.

Sample № 2 is the most technogenically loaded. It has the highest indicators for almost all heavy metals (Cr, Ni, Cu, Zn), and the chromium content (113 mg/kg) exceeds the MPC (100 mg/kg). Sulfur (S) in samples №1 (680 mg/kg) and №2 (1040 mg/kg) significantly exceeds the MPC for soils (160 mg/kg), which may indicate salinization or technogenic pollution by fuel combustion products. Arsenic (As) is the most alarming indicator. Exceeding the MPC in all three samples (up to 7.5 times the lower limit of the norm) indicates chronic pollution. Arsenic often enters the soil through fuel additives, lubricants and combustion products.

Sample № 2 is the most anthropogenically modified. In addition to sulfur, the following recorded here: Cr, V. An excess of Cr (113 mg/kg) is observed, which may be associated with wear of metal parts of cars or specific repair work at the location. Vanadium (V) is within the normal range, the indicator of 137 mg/kg in sample №1 is borderline. Vanadium is a typical "marker" of oil pollution.

Although vanadium is an ultra-microelement and is indispensable in very small quantities, excessive exposure is toxic,

causes diseases of the nervous system, lungs and heart, and is also considered a potential carcinogen. The presence of strontium in the samples may indicate contact with surface waters in contact with oil and gas raw materials. The results show that the soil cover exposed to oil and gas raw materials, heavy metals, which are washed out by surface waters, which creates a high risk of water pollution.

The relevance of the content of heavy metals in the territory of gas stations is due to their toxicity and ability to bioaccumulate, which causes a negative impact on the human body and the ecosystem as a whole. Arsenic, nickel, vanadium and strontium are of particular danger, since they are highly toxic and carcinogenic even in relatively low concentrations.

ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИЙ ТА ФІТОІНДИКАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РОСЛИН У МОНІТОРИНГУ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

PHYTORREMEDICATION AND PHYTOINDICATIVE POTENTIAL OF PLANTS IN MONITORING OIL- CONTAMINATED AREAS

Караванович Х. Б., Івано-Франківський фаховий коледж ЛНУП

Анотація. У роботі досліджено проблему нафтового забруднення довкілля та його вплив на ґрунтовий покрив і рослинні угруповання в зоні впливу Битків-Бабченське нафтогазоконденсатне родовище. Розглянуто особливості накопичення нафтопродуктів у ґрунтах, зміни їх фізико-хімічних властивостей, порушення біологічної активності та ризику вторинного забруднення компонентів навколишнього середовища. Проаналізовано вплив нафтового забруднення на морфологічний і фізіологічний стан рослин, зокрема прояви хлорозів, некрозів, зниження біомаси та пригнічення ростових процесів.

Обґрунтовано доцільність використання деревних рослин як фітоіндикаторів і фіторемедіантів для оцінювання рівня техногенного навантаження та відновлення деградованих територій. Визначено перспективність застосування енергетичних культур, зокрема верби енергетичної, топінамбура та люцерни посівної, у процесах фіторекультивуації нафтозабруднених земель. Встановлено, що поєднання деревних насаджень та енергетичних культур сприяє стабілізації ґрунтового середовища, активізації ризосферної мікробіоти та поступовому відновленню екологічних функцій екосистем.

У роботі наголошено на важливості комплексного екологічного моніторингу, який поєднує хімічний аналіз, біоіндикацію, біотестування та статистичну обробку результатів. Доведено, що фітоіндикаційний підхід дозволяє оцінювати інтегральний вплив нафтового забруднення на довкілля та визначати рослини, придатні для екологічного контролю й фіторемедіаційних заходів.

Ключові слова: нафтове забруднення, фіторемедіація, фітоіндикація, деревні рослини, енергетичні культури, ґрунт, рекультивація, екологічний моніторинг, техногенне навантаження.

Abstract. The paper investigates the problem of oil pollution and its impact on soil cover and plant communities within the influence zone of the Bytkiv-Babchenske oil and gas condensate field. The peculiarities of petroleum product accumulation in soils, changes in their physicochemical properties, disturbances of biological activity, and the risks of secondary contamination of environmental components are considered. The influence of oil pollution on the morphological and physiological condition of plants is analyzed, including manifestations of chlorosis, necrosis, biomass reduction, and inhibition of growth processes.

The expediency of using woody plants as phytoindicators and phytoremediators for assessing the level of technogenic load and restoring degraded territories is substantiated. The перспективність of applying energy crops, particularly energy willow, Jerusalem artichoke, and alfalfa, in the phytoremediation of oil-contaminated lands is determined. It has been established that the combination of woody plantations and energy crops contributes to soil stabilization, activation of rhizosphere microbiota, and gradual restoration of ecological functions of ecosystems.

The study emphasizes the importance of comprehensive

environmental monitoring, which combines chemical analysis, bioindication, biotesting, and statistical processing of results. It is proven that the phytoindication approach makes it possible to assess the integrated impact of oil pollution on the environment and identify plant species suitable for environmental monitoring and phytoremediation measures.

Keywords: oil pollution, phytoremediation, phytoindication, woody plants, energy crops, soil, reclamation, environmental monitoring, technogenic load.

Нафтове забруднення довкілля належить до найскладніших екологічних проблем сучасності, оскільки охоплює ґрунтовий покрив, атмосферне повітря, поверхневі й підземні води та біотичні компоненти екосистем [2, 3]. У процесі видобування, транспортування, зберігання і переробки вуглеводневої сировини у природне середовище надходять нафтопродукти, легкі й важкі фракції вуглеводнів, смолисто-асфальтенові речовини, сірковмісні сполуки та мікроелементи [2]. У ґрунтах такі речовини можуть тривалий час зберігатися завдяки адсорбційній здатності мінеральної та органічної частини ґрунту, що ускладнює природне самоочищення і підвищує ризик вторинного забруднення суміжних компонентів довкілля [3].

Особливої актуальності проблема набуває для територій довготривалого нафтовидобутку, де антропогенне навантаження поєднується з природною вразливістю гірських і передгірських екосистем [4]. Битків-Бабченське нафтогазоконденсатне родовище розміщене у Надвірнянському районі Івано-Франківської області, у межах Західного нафтогазоносного регіону України. Територія характеризується складною геологічною будовою, тривалою історією розробки покладів та наявністю значної кількості експлуатаційних об'єктів. Такі умови

формують потребу у комплексному екологічному моніторингу, який враховує не лише концентрацію забруднювачів, а й біологічну відповідь рослинних організмів [1].

Перспективним напрямом відновлення деградованих територій є фіторе mediaція, що ґрунтується на здатності рослин поглинати, акумулювати, трансформувати або стабілізувати забруднювачі [2]. Перевагами цього підходу є екологічна безпечність, відносна доступність, можливість поєднання з рекультиваційними заходами та формуванням стійких зелених насаджень. Водночас рослини можуть виконувати функцію фітоіндикаторів: зміни їх морфологічного, фізіологічного та біохімічного стану відображають рівень техногенної трансформації середовища [1].

Метою дослідження є обґрунтування використання деревних рослин та енергетичних культур як ефективних фіторе mediaнтів і фітоіндикаторів нафтозабруднених територій на прикладі зони впливу Битків-Бабченського нафтогазоконденсатного родовища. Для реалізації поставленої мети доцільним є дослідження морфологічних і фізіологічних параметрів рослин, визначення їх металоакумулювальної здатності, встановлення взаємозв'язків між станом листкових пластинок і рівнем техногенного навантаження, а також оцінювання придатності енергетичних культур до фіторекультивації [1].

Окремий практичний інтерес становлять енергетичні культури, зокрема верба енергетична, топінамбур і люцерна посівна, які здатні формувати значну біомасу та можуть використовуватися у відновленні техногенно змінених земель [2]. Поєднання деревних рослин і швидкорослих культур дає можливість розглядати фіторе mediaцію не лише як спосіб очищення середовища, а й як елемент довгострокового

управління територіями.

Важливим етапом є статистична обробка результатів, оскільки саме вона дає змогу виявити кореляційні залежності між морфофізіологічними ознаками та акумулятивними властивостями рослин [1]. Такий підхід дає можливість виділити види з високою чутливістю до нафтового забруднення, придатні для біоіндикації, а також стійкі види, які можуть використовуватися у фіторе mediaційних і фітомеліоративних насадженнях.

Нафтове забруднення змінює морфологічні, фізико-хімічні й біологічні властивості ґрунтів [2, 3]. У забруднених ґрунтах часто спостерігаються потемніння профілю, ущільнення, поява маслянистих плівок, погіршення водопроникності та повітряного режиму [3]. Важкі фракції нафти сорбуються переважно у верхніх горизонтах, утворюючи гідрофобний шар, тоді як легкі фракції можуть мігрувати вниз по профілю та створювати ризик забруднення підземних вод. У результаті змінюється доступність елементів мінерального живлення, порушується співвідношення вуглецю й азоту, пригнічується діяльність чутливих груп ґрунтової біоти [2].

Рослини реагують на нафтове забруднення як безпосередньо, через проникнення токсичних компонентів у тканини, так і опосередковано, через зміну ґрунтових умов [1]. Реакціями можуть бути зниження схожості, уповільнення росту, зменшення біомаси, поява некрозів і хлорозів, порушення пігментного обміну [1]. За низьких концентрацій окремі види можуть демонструвати відносну стійкість або компенсаторні реакції, однак за зростання рівня забруднення переважає пригнічення життєвих процесів. Саме тому оцінювання стану рослин є важливим інструментом виявлення екологічного ризику.

Деревні насадження виконують роль природного фільтра,

здатного затримувати пилові частинки, газоподібні поліютантн та частину токсичних елементів [4]. Види з високою акумулятивною здатністю можуть бути залучені до стабілізації забруднювачів у біомасі, тоді як види з вираженими і швидкими морфологічними реакціями доцільно використовувати як індикатори стану середовища [1]. Для нафтозабруднених територій особливо важливо відбирати рослини, що поєднують стійкість до стресу, здатність до накопичення окремих елементів і добру адаптацію до місцевих кліматичних умов.

Енергетичні культури мають додаткову перевагу, оскільки формують значну надземну і підземну біомасу, сприяють закріпленню ґрунту, активізації ризосферної мікробіоти та поступовому відновленню біологічної активності ґрунтової екосистеми [2]. Верба енергетична, топінамбур і люцерна посівна можуть розглядатися як компоненти фіторекультивацийних схем для земель, що зазнали техногенного впливу, за умови попереднього оцінювання рівня забруднення та контролю можливого накопичення токсикантів у біомасі.

Практична цінність фітоіндикаційного підходу полягає у можливості швидко оцінювати стан територій, де хімічний аналіз не завжди дає повну характеристику екологічної небезпеки [1]. Аналітичні методи фіксують концентрації окремих речовин, однак не завжди відображають сумарний вплив сумішей вуглеводнів, важких металів, продуктів трансформації та супутніх поліютантів. Біологічні методи, навпаки, показують інтегральну реакцію живих організмів і дають змогу виявляти ранні прояви деградації екосистеми [2].

Для територій нафтовидобутку доцільно формувати систему моніторингу, у якій хімічні вимірювання поєднуються з оцінкою стану рослин [3]. Така система може включати регулярне обстеження деревних насаджень, визначення видового складу,

аналіз листкових пошкоджень, оцінювання вмісту хімічних елементів у рослинних тканинах, а також порівняння даних із контрольними ділянками. На основі отриманих результатів можна створювати карти екологічного стану територій, виділяти зони підвищеного ризику та обґрунтовувати заходи з рекультивації.

Використання деревних рослин та енергетичних культур у системі екологічного моніторингу і рекультивації нафтозабруднених територій є науково обґрунтованим та практично доцільним. Фітоіндикатори дозволяють оцінювати ступінь техногенної трансформації середовища за змінами морфологічних і фізіологічних показників, а фіторемедіанти забезпечують поступове відновлення екологічних функцій деградованих земель. Для умов Битків-Бабченського нафтогазоконденсатного родовища перспективним є поєднання місцево адаптованих деревних видів із енергетичними культурами, що дає можливість одночасно підвищувати фітомеліоративну ефективність насаджень, стабілізувати ґрунтове середовище та забезпечувати довготривалий контроль екологічного стану територій.

Нафтове забруднення є полікомпонентним чинником екологічного ризику, що порушує фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунтів і негативно впливає на рослинні угруповання. Деревні рослини доцільно використовувати як біоіндикатори і фіторемедіанти завдяки їх здатності реагувати на техногенний стрес та акумулювати окремі забруднювачі. Енергетичні культури можуть бути ефективним елементом фіторекультивації, оскільки формують значну біомасу і сприяють відновленню ґрунтового покриву. Найбільш результативним для нафтозабруднених територій є комплексний підхід, що поєднує хімічний аналіз, біоіндикацію, біотестування та фіторемедіаційні

заходи.

Список використаних джерел

1. Glibovytska, N. I., & Karavanovych, K. B. (2018). Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(3), 322–327.
2. Джура, Н.М., Романюк, О.І., Гонсьор, Я., Цвілинюк, О.М., Терек, О.І. (2006). Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами. *екологія та ноосферологія*, 17(1–2), 55– 60.
3. Клімова, Н.В. (2006). Деякі питання методики оцінки стану забруднення ґрунтів унаслідок нафто газовидобутку. *вісник львівського університету ім. Івана Франка. серія географічна*, 3, 144–151.
4. Ніколайчук, В., Литвин, В., Бойко, Н., Колесник, О. (2003). Природні екосистеми карпат в умовах посиленого антропогенного впливу. *інформаційний вісник академії наук вищої школи України*, 3(36), 4–10.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У ОБОЛОНЦІ (КАПСУЛІ)

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE USE OF COATED MINERAL FERTILISERS

*Стефанівський М.А., Національний університет «Львівська політехніка»
Мальований М.С., д.т.н., проф., Національний університет «Львівська
політехніка»*

*Бордун І.М., д.т.н., с.н.с., Національний університет «Львівська
політехніка»*

Люта О.М., к.т.н., доц., Національний університет «Львівська політехніка»

The study addresses the environmental aspects of using encapsulated mineral fertilizers in modern agriculture. Controlled-release fertilizers ensure gradual nutrient availability, improving nutrient use efficiency and reducing losses to the environment. Their application significantly decreases nitrogen leaching, greenhouse gas emissions, and the risk of eutrophication of water bodies. At the same time, attention is given to potential environmental risks associated with polymer coatings, particularly microplastic accumulation in soils. The development of biodegradable coatings is considered a promising solution to enhance sustainability. Overall, encapsulated fertilizers represent an effective tool for reducing the environmental impact of agricultural practices while maintaining high productivity.

У сучасних системах землеробства одним із головних екологічних викликів є низька ефективність використання поживних речовин із традиційних мінеральних добрив. За даними сучасних оглядових праць, рослини засвоюють лише близько 30-35 % поживних елементів із звичайних мінеральних форм, тоді як решта втрачається внаслідок вимивання, летких втрат,

денітрифікації та фіксації у ґрунті. Такі втрати спричиняють евтрофікацію водних об'єктів, зростання емісій NH_3 і N_2O , а також погіршення біологічного стану ґрунтів. Одним із найбільш перспективних шляхів зниження цього навантаження є використання капсульованих мінеральних добрив, або *fertilizers with controlled release*. Їхня принципова перевага полягає в тому, що поживні речовини надходять у ґрунтовий розчин поступово та більшою мірою синхронізуються з фазами росту рослин. У результаті зменшуються втрати азоту і фосфору, скорочується частота внесення та підвищується загальна екологічна ефективність систем удобрення. Метою досліджень є узагальнення екологічних ефектів використання капсульованих мінеральних добрив, оцінка їх впливу на втрати поживних елементів, викиди парникових газів, якість ґрунту та потенційні ризики, пов'язані з матеріалом оболонки. Традиційні азотні добрива швидко розчиняються після внесення, тому в періоди інтенсивних опадів або надмірного зволоження значна частина нітратного азоту переходить у дренажні води. У дослідженнях, присвячених оцінці нових поколінь покритих добрив, вказано, що 40-70 % внесеного азоту може бути втрачено у довкіллі через вимивання, денітрифікацію чи легкі втрати, а 1-4 % внесеного азоту здатне переходити у форму N_2O . Для інтенсивних агроecosистем це означає не лише зниження коефіцієнта використання добрив, а й формування суттєвого кліматичного та водоохоронного ризику.

Капсульовані добрива складаються із мінерального ядра та оболонки, яка регулює швидкість надходження поживних елементів. Вивільнення може відбуватися шляхом дифузії через напівпроникну матрицю, поступового набухання оболонки або її біодеструкції. Завдяки цьому концентрація мінерального азоту в ґрунтовому розчині стає менш піковою, а це особливо важливо

для запобігання нітратному вимиванню та короткочасним сплескам емісії N_2O після внесення. Експериментальні та оглядові джерела підтверджують, що екологічний ефект капсульованих добрив має вимірюваний характер. У трирічному польовому досліді на соняшнику застосування controlled-release fertilizer підвищило nitrogen use efficiency на 14,33 %, знизило азотні леткі втрати на 26,56 %, а за результатами LCA зменшило сукупний вплив на клімат на 13,03 %, потенціал закислення - на 29,05 %, а потенціал евтрофікації - на 29,02 %. В окремому дослідженні з біорозкладними оболонками кумулятивне вимивання амонійного азоту зменшувалося на 26-40 %, а вимивання нітратів - на 41-54 % порівняно зі звичайною сечовиною.

Показник	Традиційні добрива	Капсульовані добрива	Орієнтовний ефект
Засвоєння поживних речовин рослинами	близько 30-35 %	вище; NUE +14,33 %	підвищення ефективності
Азотні леткі втрати	вищі пікові втрати після внесення	на 26,56 % нижчі	менші NH_3/N -втрати
Вимивання NH_4^+-N	базовий рівень	на 26-40 % нижче	менше забруднення дренажних вод
Вимивання NO_3^--N	базовий рівень	на 41-54 % нижче	менший ризик евтрофікації
Сукупний кліматичний вплив	вищий	GHG -13,03 %	менше навантаження на клімат
Потенціал евтрофікації	вищий	на 29,02 % нижчий	краща водоохоронна ефективність

Окрім зниження втрат поживних речовин, капсульовані добрива позитивно впливають на стабільність живлення рослин і на функціонування ґрунтової мікробіоти. Більш рівномірне надходження азоту зменшує осмотичний стрес, запобігає локальному закисленню мікрозон ґрунту та підтримує сприятливіші умови для мікробіологічної активності. Практичне значення цього ефекту особливо високе в інтенсивних системах вирощування овочів, кукурудзи, соняшнику, а також у точному землеробстві, де важлива синхронізація дози, часу та місця внесення. Водночас використання капсульованих добрив не можна розглядати як безумовно екологічно нейтральну технологію. Якщо оболонка виготовлена на основі поліетилену, поліуретану чи інших стійких нафтохімічних полімерів, у ґрунті можуть накопичуватися фрагменти покриттів, які в подальшому розглядаються як потенційне джерело мікропластиків. Саме тому в сучасних роботах усе більша увага приділяється оболонкам на основі крохмалю, целюлози, лігніну, хітозану та біобазованих поліуретанів, які забезпечують контрольоване вивільнення та одночасно зменшують ризик довготривалого накопичення полімерних залишків.

З екологічної точки зору використання капсульованих мінеральних добрив є найбільш виправданим у тих умовах, де ризик втрат поживних елементів особливо високий: на легких ґрунтах, у зонах із нерівномірним режимом опадів, у системах зрошення, а також у високопродуктивному овочівництві та спеціалізованих польових сівозмінах. Перевагою є також можливість зменшення кількості внесень, що скорочує паливні витрати та відповідні викиди CO_2 від польових операцій.

Обмеженнями залишаються вища вартість продукції, залежність ефективності від температури та вологості ґрунту, а

також неоднакова швидкість деструкції різних типів оболонок. Для практичного впровадження важливо оцінювати не лише агрономічний ефект, а й повний життєвий цикл продукту: походження матеріалу оболонки, енергоємність виробництва, поведінку залишків у ґрунті та інтегральний вплив на клімат, водні ресурси й ґрунтові екосистеми.

Таким чином, капсульовані мінеральні добрива є ефективним інструментом зменшення екологічного навантаження від традиційного удобрення. За сучасними даними вони здатні підвищувати коефіцієнт використання азоту щонайменше на 14,33 %, знижувати азотні леткі втрати на 26,56 %, нітратне вимивання - на 41-54 %, а потенціал евтрофікації - приблизно на 29 %. Найбільший екологічний ефект досягається за умов синхронізації швидкості вивільнення із потребами культури та використання біорозкладних оболонок. Подальші дослідження ми прямуємо спрямовувати на розроблення дешевших біобазованих покриттів, оцінку довгострокової долі полімерних залишків у ґрунті та адаптацію капсульованих добрив до систем точного землеробства.

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСТРАКЦІЇ РУХОМИХ ФОРМ МІДІ ТА ЦИНКУ З ҐРУНТІВ ЗАКАРПАТТЯ РІЗНИМИ РЕАГЕНТАМИ

COMPARISON OF DIFFERENT REAGENTS FOR THE EXTRACTION OF MOBILE COPPER AND ZINC FROM SOILS OF TRANS CARPATHIA

*Чома З.З., доктор філософії, Закарпатський угорський університет
імені Ференца Ракоці II*

The article presents a comparative analysis of the extraction of mobile forms of copper and zinc from various soil types in Transcarpathia using three extractants: ammonium acetate buffer solution, ammonium acetate + ethylenediaminetetraacetic acid, and diethylenetriaminepentaacetic acid. A moderate correlation for copper and a strong linear relationship for zinc were established between the different extraction methods. The obtained statistical models and regression equations allow for the mutual conversion of copper and zinc concentrations determined by different extractants. This is important for conducting transboundary soil monitoring in the region.

Для вилучення рухомих форм мікроелементів з ґрунтів використовують екстрагенти. Через значні відмінності у властивостях ґрунтів, різну розчинність сполук елементів, а також залежно від мети дослідження (забезпеченість рослин, охорона ґрунтів), при визначенні вмісту доступних форм мікроелементів для виготовлення витяжки використовують широкий спектр різноманітних розчинів. Вони відрізняються як за своїм складом, так і за механізмом дії, тому при використанні різних екстрагентів отримуємо різні концентрації елементів

навіть для одного і того ж типу ґрунту, а результати, відповідно, неможливо безпосередньо порівняти між собою.

В Україні основним нормативним документом для визначення мікроелементів та важких металів у ґрунті є серія стандартів ДСТУ 4770. Ця серія передбачає визначення вмісту доступних для рослин форм елементів з використанням амонійно-ацетатного буферного розчину з рН 4,8. На практиці українські агрохімічні лабораторії дотримуються саме цих стандартів для державного моніторингу та надання рекомендацій аграріям.

Відмінності, що виникають через використання неоднакових екстрагентів у різних країнах, часто створюють проблеми на Закарпатті під час оцінки вмісту рухомих форм мікроелементів та важких металів у ґрунтах. Область межує з чотирма країнами, тому проведення транскордонних ґрунтових досліджень та управління екологічними проблемами є серйозним викликом.

Метою нашої роботи є виявлення та встановлення кореляцій між вмістом міді та цинку у ґрунтах, екстрагованих за допомогою стандартного в Україні амонійно-ацетатного буферного розчину з рН 4,8 (ААБ), та екстрагентами: 1) амонійно-ацетатний буферний розчин + етилендіамінтетраоцтова кислота і 2) діетилентриамінпентаоцтова кислота, які часто використовують за кордоном.

Матеріали та методи досліджень.

Об'єктами досліджень були дернові опідзолені оглеєні, буроземно-підзолисті та бурі гірсько-лісові ґрунти низинної, передгірної та гірської агрокліматичних зон Закарпатської області. Шістнадцять зразків ґрунтів були відібрані з верхнього (0–20 см) шару на ділянках із різним цільовим призначенням: рілля, пасовища, виноградники та ліс.

Повітряно-сухі зразки подрібнювали в агатовій ступці до розміру часток менше 1 мм. З підготовлених таким чином зразків готували витяжки з використанням трьох екстрагентів. У витяжках методом полум'яної атомно-абсорбційної спектрометрії (F-AAS) за допомогою приладу Agilent Technologies 200 Series AA було визначено концентрації міді, цинку та марганцю. Також у ґрунтах було визначено рН(KCl) та вміст гумусу.

Склад екстрагентів та умови приготування витяжок:

Амонійно-ацетатний буферний розчин (ААБ): 0,9 моль дм⁻³ CH₃COOH + 1,0 моль дм⁻³ CH₃COONH₄, рН=4,8, співвідношення ґрунту до екстрагенту 1:5, час струшування 60 хвилин [1,2].

Екстрагент Лаканена-Ервіо (ЛЕ): 0,02 моль дм⁻³ ЕДТА (Трилон Б) + 0,5 моль дм⁻³ CH₃COOH + 0,5 моль дм⁻³ CH₃COONH₄, рН=4,65, співвідношення ґрунту до екстрагенту 1:10, час струшування 60 хвилин [3,5]..

Екстрагент на основі діетилентріамінпентаоцтової кислоти (ДТПА): 0,005 моль дм⁻³ ДТПА + 0,01 моль дм⁻³ CaCl₂ + 0,1 моль дм⁻³ триетаноламін, рН=7,2, співвідношення ґрунту до екстрагенту 1:2, час струшування 120 хвилин [4,5].

Результати та їх обговорення

Кислотність досліджених ґрунтів варіювала від сильноокислих до близьких до нейтральних. Середнє значення рН сольового становило 5,2 (максимальне значення — 6,9, мінімальне — 3,6). Низькі значення рН спостерігалися в ґрунтах лісів і виноградників буроземно-підзолистих та бурих гірсько-лісових ґрунтів. Кислотність дернових опідзолених оглеєних ґрунтів, що перебувають під ріллею, була слабкокислою або близькою до нейтральної.

Середній вміст гумусу в досліджуваних зразках ґрунтів становив 3,4% (максимальне значення — 6,6%, мінімальне — 1%). Нижчий вміст гумусу було зафіксовано в ґрунтах ріллі та

виноградників. У ґрунтах пасовищ і лісів вміст гумусу переважно був вищим.

Статистичні показники концентрації міді та цинку, вилучених за допомогою трьох екстрагентів, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичні параметри вмісту рухомих форм міді та цинку у
ґрунтах за використання різних екстрагентів

Статистичні показники	Мідь, мг кг ⁻¹			Цинк, мг кг ⁻¹		
	Екстрагенти					
	ААБ	ЛЕ	ДТПА	ААБ	ЛЕ	ДТПА
Середнє	1,6	10,7	5,2	3,4	8	1,9
Медіана	0,65	6,7	2,9	2,5	3,9	2
Мінімум	0,17	2,11	0,05	0,57	1	0,1
Максимум	6,8	35	3,8	18	64,3	3,8

Концентраціях рухомих форм міді в ґрунтах коливалася у відносно широких межах. Найменша кількість міді з ґрунтів була вилучена розчином ААБ. У витяжці екстрагенту ЛЕ нами було визначено майже в сімь разів більше міді. Основою обох екстрагентів (ААБ та ЛЕ) є амонійно-ацетатний буфер, з тією різницею, що ЛЕ також містить ЕДТА, який за рахунок утворення комплексних сполук утримує мідь у розчині. Отже, значну різницю в кількості міді, вилученої цими двома екстрагентами, можна пояснити присутністю ЕДТА. Розчин ДТПА також вилучив із ґрунтів у три рази більше міді, ніж ААБ, але вдвічі менше, ніж ЛЕ.

Вміст рухомого цинку в ґрунтах також змінювався в

широких межах. Для цинку, як і для міді, найефективнішим екстрагентом виявився ЛЕ. Розчин ААБ також є ефективним екстрагентом для цинку, перевивши у витяжку понад 40% від його кількості, вилученої ЛЕ. Найменше цинку було вилучено екстрагентом ДТПА — трохи більше половини від кількості, що було визначено у витяжці ААБ, і лише 24% від кількості, вилученої за допомогою ЛЕ.

Для вмісту рухомих форм міді та цинку визначених у витяжках з ґрунту трьома екстрагентами (ААБ, ЛЕ та ДТПА) провели кореляційний та регресійний аналіз. Математичні рівняння, що описують взаємозв'язки між екстрагентами та значення коефіцієнтів детермінації представлені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Рівняння залежності між концентраціями міді та цинку
вилучених різними екстрагентами

Мідь		Цинк	
Рівняння залежності	R ²	Рівняння залежності	R ²
$Cu_{ААБ} = 0,08 * (Cu_{ЛЕ})^{1,12}$	0,57	$Zn_{ААБ} = 0,26 * Zn_{ЛЕ} + 1,24$	0,96
$Cu_{ААБ} = 0,49 * (Cu_{ДТПА})^{0,60}$	0,72	$Zn_{ААБ} = 0,68 * Zn_{ЛЕ} + 1,12$	0,96

Примітка: в таблиці Cu_{xxx} та Zn_{yyy} означає вміст рухомих форм елементів в $mg\ kg^{-1}$ у відповідних витяжках

Згідно з результатами кореляційного аналізу, зв'язок між концентрацією міді, визначеною в екстрагентах ААБ та ЛЕ, є значущим ($r=0,75$). Перерахунок концентрацій міді, вилученої цими двома екстрагентами, можна здійснити за допомогою

ступеневого рівняння. Між кількістю міді, визначеною в розчинах ААБ та ДТПА, спостерігається також значущий зв'язок ($r=0,84$). Взаємозв'язок між концентраціями міді в цьому випадку також описується степеневим рівнянням.

На основі результатів статистичного аналізу встановлено, що між концентраціями рухомих форм цинку досліджуваних ґрунтів, визначеними у витяжках екстрагентів ААБ та ЛЕ, існує сильний лінійний зв'язок ($r=0,98$). Також спостерігається сильний лінійний зв'язок ($r=0,98$) між концентрацією рухомого цинку в зразках ґрунту, визначених в розчинах ААБ та ДТПА. Таким чином, перерахунок концентрації рухомих форм цинку, вилучених різними екстрагентами здійснюється за допомогою лінійного рівняння.

Список використаних джерел

1. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.6:2007. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.
2. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.2:2007. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.
3. Lakanen E., Erviö R. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. *Acta Agralia Fennica*. 1971. Vol. 123. P. 223–232.
4. Lindsay W. L., Norvell W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 1978. Vol. 42, no. 3. P. 421–428.
5. Sillanpää M. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. *FAO Soils Bulletin*. 1982. No. 48. P. 59–94.

САМОСІЙНІ ЛІСИ ЯК ВУГЛЕЦЕВІ РЕЗЕРВУАРИ: ІНТЕГРАЦІЯ МОНІТОРИНГУ У КЛІМАТИЧНУ ЗВІТНІСТЬ УКРАЇНИ

SELF-SEEDED FORESTS AS CARBON RESERVOIRS: INTEGRATING MONITORING INTO UKRAINE'S CLIMATE REPORTING

*Лучак І.П., аспірант кафедри біології та екології, Карпатський
національний університет імені Василя Стефаника*

Abstract. Naturally regenerated (self-seeded) forests on former agricultural lands represent an underestimated carbon sink with significant implications for Ukraine's climate commitments under the Paris Agreement and EU integration frameworks. This study assesses the carbon sequestration potential of these ecosystems and evaluates the role of systematic monitoring in improving national greenhouse gas reporting. We analyse the applicability of remote sensing approaches, including multi-temporal satellite data, LiDAR, and machine learning techniques, for large-scale carbon stock assessment. The results highlight the potential of integrating naturally regenerated forests into national climate accounting systems and land-use governance, supporting more accurate and comprehensive climate reporting in Ukraine.

Зміна клімату є одним із ключових викликів сучасності, що спонукає держави до пошуку ефективних механізмів скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів. Ліси відіграють у цьому процесі визначальну роль, акумулюючи значні обсяги вуглецю в біомасі та ґрунті. Проте в національних системах кліматичної звітності традиційно враховуються переважно господарські ліси, тоді як природно відновлені

деревостани на колишніх сільськогосподарських угіддях залишаються поза межами систематичного обліку. Це суттєво занижує реальний вуглецепоглинальний потенціал лісового сектору України.

Природно відновлені ліси формуються без цілеспрямованого заліснення – внаслідок виведення угідь з активного обробітку та подальшої природної сукцесії рослинності. В Україні цей процес набув значного поширення після 1990-х років, зокрема у Карпатському регіоні, де соціально-економічні трансформації зумовили масштабне заліснення сільськогосподарських земель [1, 2]. Попри стихійний характер виникнення, такі деревостани здатні накопичувати суттєві запаси вуглецю, що зростають із віком і щільністю деревостану, наближаючись за часом до показників природних лісів.

Включення природно відновлених лісів до національного кадастру парникових газів та звітності за Паризькою угодою і Регламентом ЄС про землекористування (LULUCF) потребує їх достовірної просторової ідентифікації та регулярної оцінки запасів вуглецю. Натомість відсутність стандартизованого підходу до обліку цього типу лісів, їх фрагментованість і дифузне розташування в агроландшафтах суттєво ускладнюють традиційні підходи до інвентаризації.

Саме тому дистанційне зондування Землі стає незамінним інструментом їх систематичного моніторингу. Для картографування природно відновлених лісів і відстеження динаміки їх розвитку найефективнішим є аналіз багаторічних часових рядів супутникових знімків Landsat і Sentinel-2. Він дає змогу виявляти поступові сукцесійні переходи від трав'янистої до деревної рослинності, встановлювати час початку відновлення та оцінювати темпи приросту біомаси [3, 4, 5]. Поєднання оптичних даних із радарними спостереженнями Sentinel-1 SAR підвищує

надійність моніторингу в умовах хмарності та дозволяє отримувати структурну інформацію про деревостан незалежно від погодних умов [6].

Кількісна оцінка запасів вуглецю – ключовий показник для кліматичної звітності – потребує даних про тривимірну структуру деревостану: висоту, зімкненість крон і вертикальний розподіл фітомаси. Технологія LiDAR забезпечує отримання саме таких параметрів з високою точністю і є визнаним стандартом у дистанційній оцінці лісової біомаси [8]. У поєднанні з алометричними рівняннями та наземними вимірами LiDAR-дані уможливають надійне просторово явне оцінювання вуглецевих запасів навіть у фрагментованих і гетерогенних деревостанах. Для дрібних і просторово розосереджених ділянок природного відновлення додаткову точність забезпечують знімки надвисокого розрізнення та аерознімання з БПЛА та польова верифікація даних [7].

Автоматизація та масштабованість моніторингових процедур досягаються завдяки інтеграції даних із хмарними платформами геопросторового аналізу, зокрема Google Earth Engine [9]. Алгоритми машинного навчання – Random Forest [10], Gradient Boosting [11] – демонструють високу ефективність у задачах класифікації земного покриву, виявлення меж природного відновлення та картографування вуглецевісесистем на великих територіях.

Таким чином, природно відновлені ліси є значущим, але системно недооціненим компонентом вуглецевого балансу України. Їх включення до національної кліматичної звітності потребує формування спеціалізованої моніторингової системи, що інтегрує дані дистанційного зондування, хмарні обчислення та методи машинного навчання. Така система не лише підвищить точність звітності за міжнародними кліматичними

зобов'язаннями, а й стане важливим інструментом управління земельними ресурсами та планування екосистемного відновлення в контексті повоєнної відбудови та євроінтеграції України.

Список використаних джерел

1. Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V. C., van der Linden S., Perzanowski K., Kruhlov I. Cross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians. *Ecosystems*. 2008. Vol. 11, No 4. P. 614–628. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9146-z>
2. Kuemmerle T., Chaskovskyy O., Knorn J., Radeloff V. C., Kruhlov I., Keeton W. S., Hostert P. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007. *Remote Sensing of Environment*. 2009. Vol. 113, No 6. P. 1194–1207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.006>
3. Zhu Z., Woodcock C. E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 144. P. 152–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>
4. Kolečka N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M., Ginzler C., Psomas A., Price B. Greening trends and their relationship with agricultural land abandonment across Poland. *Remote Sensing of Environment*. 2021. Vol. 257. Art. 112340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112340>
5. Liu B., Song W. Mapping abandoned cropland using within-year Sentinel-2 time series. *Catena*. 2023. Vol. 223. Art. 106924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106924>
6. Goga T., Szatmári D., Feranec J., Papčo J. Abandoned agricultural land identification using object-based approach and Sentinel data in the Danubian Lowland, Slovakia. *International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2020. Vol. XLIII-B3-2020. P. 1539–1545. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1539-2020>
7. Morell-Monzó S., Estornell J., Sebastiá-Frasquet M.-T. Comparison of Sentinel-2 and high-resolution imagery for mapping abandoned agricultural plots. Remote Sensing. 2020. Vol. 12, No 12. Art. 2062. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12122062>
 8. Borsah A. A., Dadzie I., Baffoe P. E. LiDAR-based forest biomass remote sensing: A review of metrics, methods and assessment criteria for the selection of allometric equations. Forests. 2023. Vol. 14, No 10. Art. 2095. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14102095>
 9. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
 10. Sun J., Di L., Sun Z., Shen Y., Lai Z. Optimal parameters of random forest for land cover classification using Sentinel-2 data. Frontiers in Earth Science. 2023. Vol. 11. Art. 1188093. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1188093>
 11. Tamás J., Louis A., Fehér Z. Z., Nagy A. Land cover mapping using high-resolution satellite imagery: A comparison of Random Forest, Gradient Tree Boosting, and Naive Bayes. Remote Sensing. 2025. Vol. 17, No 15. Art. 2591. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs17152591>

АНАЛІЗ І СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ КАЛІЙНИХ ДОБРИВ У ПИТАННЯХ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ

ANALYSIS AND MODERN APPROACHES TO THE USE OF POTASSIUM FERTILIZERS IN ISSUES OF SOIL RADIATION SAFETY

*Держко О.І. науковий співробітник,
Хацевич О.М. к.т.н., вчений секретар,*

Яцик Н.І. провідний інженер

*Державна установа «Державний науково-дослідний і проектний
інститут основної хімії»*

Анотація. У статті представлено систематичний аналіз світового досвіду та наукової практики використання калійних добрив як ефективного засобу для зменшення накопичення цезію (^{137}Cs) у сільськогосподарській продукції. Розглянуто механізми іонного антагонізму в системі «ґрунт-рослина», де калій виступає метаболічним конкурентом цезію, блокує його поглинання кореневою системою. Порівняння результатів застосування «калійної терапії» в різних регіонах світу підтверджує, що підвищені дози калійних добрив знижують коефіцієнти переносу радіонуклідів у сільськогосподарські культури у 2–20 разів, залежно від типу ґрунту та виду культур. Визначено оптимальні рівні обмінного калію в ґрунті для отримання безпечної продукції, а також акцентовано на необхідності врахування генетичної специфічності рослин під час розробки протоколів підживлення добривами.

Abstract. The article presents a systematic analysis of world experience and scientific practice in the use of potassium fertilizers as an effective means of reducing the accumulation of cesium (^{137}Cs) in

agricultural products. The mechanisms of ionic antagonism in the soil-plant system are considered, where potassium acts as a metabolic competitor of cesium, blocking its absorption by the root system. A comparison of the results of the use of "potassium therapy" in different regions of the world confirms that increased doses of potassium fertilizers reduce the coefficients of radionuclide transfer to agricultural crops by 2–20 times, depending on the type of soil and crop species. The optimal levels of exchangeable potassium in the soil for obtaining safe products are determined, and the need to take into account the genetic specificity of plants when developing fertilization protocols is emphasized.

Keywords: Cesium (^{137}Cs), potash fertilizers, ionic antagonism, radioactive contamination, «potassium therapy», Chernobyl NPP, Fukushima-1.

Вже пройшло сорок років після масштабної аварії на АЕС в Україні, але сільськогосподарські угіддя залишаються забрудненими вищим, ніж природний фон, рівнем цезію в деяких регіонах України, причому ізотоп ^{137}Cs є найпроблемнішим через повільну швидкість розпаду [1].

Хоча цезій як елемент не має корисної функції для рослин, він легко поглинається рослинами в забрудненому ґрунті завдяки своїй розчинності у воді та подібності до калію. Після поглинання він конкурує з калієм всередині клітин рослин, порушуючи фізіологічні процеси, значно уповільнює ріст рослин.

Цезій належить до тієї ж групи елементів, що й калій, як хімічні аналоги вони поводять себе однаково в метаболізмі рослин. Калій є одним з необхідних поживних речовин для рослин, на відміну від цезію. Як хімічний аналог калію, радіоактивний цезій легко потрапляє в метаболізм рослин, тварин та людини.

З'ясувалося також, що сполуки калію можуть бути дуже

ефективними для очищення територій, забруднених радіацією. Докази того, що калій допомагає зменшити вміст радіоактивного ^{137}Cs у рослинах, отримали під час досліджень на атолі Бікіні, де у 1940 – 1950 -тих роках США проводили ядерні випробування. Місцевих жителів тимчасово переселили, а перед їх поверненням була потреба очистити ґрунти, забруднені ^{137}Cs . Спочатку планували зняти верхній шар ґрунту, але саме він є найціннішим для сільського господарства, оскільки містить поживні речовини. Тому шукали інший спосіб, який дозволив би зберегти родючий шар і водночас знизити рівень радіонуклідів у рослинах до безпечного.

Американські науковці встановили, що внесення калійних добрив зменшує поглинання рослинами ^{137}Cs . Це пояснюється тим, що калій і цезій мають подібні властивості, але рослини «обирають» саме калій, який необхідний для їхнього росту. У результаті цезій засвоюється значно менше, а з часом - розпадається. Подібний підхід – так звана «калієва терапія» - застосовувався і після аварії на Чорнобильській АЕС. Її використовували агрохіміки та ґрунтознавці для зменшення забруднення сільськогосподарської продукції та відновлення безпечного землеробства [1].

Ефективним методом зниження переходу радіоактивних ізотопів з ґрунту в рослини є застосування мінеральних добрив, що базується на явищі іонного антагонізму. Результати сільськогосподарських досліджень показують, що вміст ^{137}Cs у сільськогосподарських культурах обернено пропорційний вмісту розчинного калію в ґрунті [2].

Метою даного дослідження, враховуючи актуальність проблеми та накопичений світовий досвід щодо ліквідації наслідків радіаційних забруднень, є систематизація та критичний аналіз існуючих світових практик застосування калійних добрив

для зменшення накопичення радіаційного цезію у сільськогосподарській продукції.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

- систематизувати дані міжнародних досліджень щодо ефективності іонного антагонізму $K^+/^{137}Cs$ для України;
- проаналізувати механізми впливу різних форм калійних добрив та специфіку їх дії залежно від мінералогічного складу ґрунтів;
- оцінити економічну та екологічну доцільність застосування «калієвої терапії», порівнюючи результатів багаторічного моніторингу в Україні та за кордоном.

Надлишкове внесення калійних добрив створює ефект «конкуренції» на поверхні кореня. Висока концентрація іонів K^+ у ґрунті займає всі доступні ділянки зв'язування на клітинних мембранах кореня, роблячи поглинання одиничних іонів цезію статистично малоймовірним. Внесення калію сприяє переходу цезію з обмінного стану (доступного рослинам) у фіксований стан у просторі глинистих мінералів ґрунту. Застосування підвищених доз калію дозволяє знизити вміст ізотопу цезію в урожаї в 2–8 разів (зокрема на легких піщаних ґрунтах). Світова практика віддає перевагу хлориду калію (KCl) та сульфату калію (K_2SO_4), оскільки ці розчинні солі забезпечують швидке вивільнення доступного для рослин іону K^+ .

Вивчення міжнародного досвіду свідчить, що стратегія використання калію як бар'єру проти радіаційного цезію адаптувалася залежно від масштабів забруднення та типу агроecosистем. Досвід США на атолі Бікіні став першим масштабним підтвердженням ефективності методу. У цьому випадку науковці зіткнулися з кораловими ґрунтами, які майже не мали здатності фіксувати цезій природним шляхом. Внесення хлориду калію (KCl) продемонструвало вражаючі результати:

вміст ^{137}Cs у продуктах харчування (зокрема у кокосах) знизився у 10–20 разів. Це довело, що навіть у екстремальних умовах, де радіонукліди знаходяться у максимально доступній формі, калій здатний виступати домінуючим конкурентом у процесі поглинання рослинами.

У контексті Чорнобильської катастрофи (Україна, Білорусь, країни ЄС) підхід був більш комплексним через різноманітність типів ґрунтів. На Поліссі, де переважають торфовища та легкі піщані ґрунти, «калієва терапія» стала основою радіаційної безпеки. Практика показала, що регулярне внесення калію у дозах, що у 1.5–2 рази перевищують стандартні агрономічні норми, дозволяє знизити рівень забруднення продукції рослинництва у 2–5 разів. За таких умов калій не лише конкурував з ізотопами цезію на рівні кореня, а й сприяв витісненню радіонукліда з ґрунтового поглинального комплексу в розчин, що пришвидшувало його вертикальну міграцію за межі прикореневого заселеного шару.

Сучасний досвід Японії (АЕС «Фукусіма-1») дозволив визначити нові критичні пороги концентрації. Японські фахівці встановили чітку залежність: якщо вміст обмінного калію в ґрунті підтримується на рівні понад 25 мг на 100 г ґрунту, перехід цезію в рис практично припиняється, дозволяючи отримувати продукцію, що відповідає найжорсткішим світовим нормам (менше 100 Бк/кг). Особливістю японського підходу стала точність дозування - було доведено, що надлишкове внесення калію понад критичну межу вже не дає додаткового ефекту, і це є важливим з точки зору економічної ефективності [3]. Необхідно також враховувати генетичну специфіку культур. Наприклад, бобові культури та коренеплоди демонструють вищу вибірковість до цезію порівняно зі злаковими, що потребує індивідуального підходу до розрахунку доз добрив.

Порівняльний аналіз цих підходів дозволяє зробити висновок: кратність зниження забруднення варіюється залежно від клімату та флори, але фундаментальний принцип іонного антагонізму залишається універсальним. Якщо на коралових островах калій був єдиним порятунком від тотального забруднення врожаю, то в умовах Європи та Японії він став інструментом тонкого регулювання, що дозволяє безпечно використовувати землі, які раніше вважалися втраченими для сільського господарства.

Висновки. Дослідженнями доведено, що калій і цезій виступають прямими метаболічними конкурентами через схожість їхніх хімічних властивостей та радіусів іонів. Висока концентрація іонів K^+ у ґрунтовому розчині фізично обмежує доступ ізотопів ^{137}Cs до каналів поглинання на мембранах коренів, що робить «калієву терапію» універсальним методом зниження радіоактивного навантаження на фітомасу. Найбільший практичний ефект від застосування калійних добрив спостерігається на ґрунтах, зі зниженим вмістом мінеральних речовин (торф'яних, легких піщаних, коралових). Внесення оптимальних доз дозволяє знизити рівень забруднення продукції у 2–8 разів (Чорнобильська зона) та навіть до 10–20 разів (атол Бікіні).

Калійні добрива, окрім прямої конкуренції на рівні кореня, сприяють переходу радіоактивного цезію з доступного (обмінного) стану у фіксований стан у кристалічних решітках глинистих мінералів. Це забезпечує тривалий ефект самоочищення родючого шару ґрунту шляхом вертикальної міграції радіонуклідів. Застосування мінеральних добрив є вигідною альтернативою для радикальних методів дезактивації, зокрема зняття верхнього шару ґрунту, що руйнує природну родючість.

Отже, систематизація світового досвіду свідчить, що оптимізація калійного живлення залишається ключовим інструментом радіаційної безпеки ґрунтів та дозволяє мінімізувати ризики потрапляння радіонуклідів у харчові ланцюги, навіть через десятиліття після техногенних аварій.

Список використаних джерел

1. Long-term effects of potassium chloride, wood ash, and EDTA on ¹³⁷Cs soil-plant transfer in a mixed forest of Ukraine / M. Vinichuk, Y. Mandro, J. Kyaschenko, K. Rosén. Chemosphere. 2024. Vol. 366. Art. 143525. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143525>
2. Effect of soil exchangeable potassium content on cesium absorption and partitioning in buckwheat grown in a radioactive cesium-contaminated field / K. Kubo et al. Plant Production Science. 2017. Vol. 20, no. 1. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1355737>.
3. The role of potassium on the remediation for the radiocesium contaminated soil / T. Shinano et al. European Journal of Forest Research. 2021. Vol. 22. P. 5–7. DOI: <https://doi.org/10.14943/EJFR.22.5>

ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ПРИКОРДОННИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

FEATURES OF SURFACE WATER MONITORING IN THE BORDER REGIONS OF UKRAINE IN THE CONTEXT OF EUROPEAN INTEGRATION

Dzhumelia E., PhD, Lviv Polytechnic National University

Abstract. Ukraine's European integration process requires the gradual adaptation of its national environmental monitoring systems to European Union standards, particularly in water resources management. The aim of this study is to identify the spatiotemporal characteristics of surface water quality in the transboundary river basins of Ukraine, assess the limitations of the current monitoring system, and determine directions for harmonizing it with European approaches. The study is based on state environmental monitoring data collected during 2005–2024 for water bodies located within the Lviv, Volyn, and Zakarpattia regions of Ukraine. The research covers transboundary river basins belonging to different international river systems, including the Vistula River basin (through the Western Bug River) and the Danube River basin (through the Rika and Tereblia rivers within the Tysa sub-basin). Statistical, correlation, geospatial, and GIS-based analyses using Python and QGIS were applied to evaluate hydrochemical indicators. The results revealed pronounced spatial and temporal variability in water quality parameters caused by both natural hydrological conditions and anthropogenic pressures.

Increased concentrations of organic and nutrient pollutants were identified in urbanized and economically developed areas. The study also revealed several limitations of the current monitoring system, including the uneven spatial distribution of observation posts, inconsistent sampling frequency, incomplete time series, and limited integration of biological indicators. The obtained results confirm the necessity for further modernization of the national monitoring system and its harmonization with European environmental monitoring requirements.

Introduction. Ukraine's integration into the European area is accompanied by the gradual adaptation of national legislation, management mechanisms, and technical procedures to the requirements of the European Union, particularly in environmental protection and water resources management. One of the key directions of the EU environmental policy is the implementation of an integrated river basin management approach based on systematic monitoring of the ecological status of water bodies, assessment of anthropogenic pressures, and ensuring open access to environmental information in accordance with the provisions of the Water Framework Directive.

In recent years, Ukraine has been reforming its surface water monitoring system in line with European approaches, particularly through the implementation of the river basin management principle, modernizing the regulatory framework, and expanding the list of environmental assessment indicators [1]. At the same time, despite these positive developments, the environmental monitoring system remains characterized by several organizational, methodological, and technical limitations, including uneven spatial distribution of

monitoring stations, differences in sampling frequency, fragmentation of environmental data, and limited integration of biological and hydromorphological indicators. This complicates the comprehensive assessment of aquatic ecosystem conditions and the comparison of obtained results with the practices applied in European Union member states.

This issue is relevant to the border regions of Ukraine, where surface water bodies form transboundary river basins and are influenced by natural, socio-economic, and man-made factors that extend across national borders. River basins located within the Lviv, Volyn, and Zakarpattia regions are hydrologically connected to territories in Poland, Slovakia, and other neighbouring countries, necessitating harmonization of approaches to monitoring, data processing, and assessment of the environmental status of water resources. Furthermore, under conditions of increasing anthropogenic pressure, climate change, urbanization, and war-related risks, the timely identification of changes in surface water quality is particularly important for ensuring environmental safety and sustainable natural resource management.

In this context, it is relevant to investigate the specific features of the surface water monitoring system in Ukraine's border regions, assess its current state, and identify directions for its further adaptation to European approaches.

The aim of the study is to identify the spatiotemporal characteristics of surface water quality in the transboundary river basins of Ukraine, assess the limitations of the current monitoring system, and determine directions for harmonising it with European

approaches.

Results and Discussion. To assess the specific features of the surface water monitoring system's functioning in the border regions of Ukraine, the long-term results of the state environmental monitoring conducted during 2005–2024 for water bodies located in the Lviv, Volyn, and Zakarpattia regions were analysed. The study covered transboundary river basins belonging to different international river systems, including the Vistula River basin (through the Western Bug River) and the Danube River basin (through the Rika and Tereblia rivers within the Tysa sub-basin) [2-4]. This approach enabled assessment of the specific functioning of the surface water monitoring system under different natural-climatic, hydrological, and anthropogenically impacted conditions in the border territories of Ukraine. The analysis was carried out using open-access data from the State Agency of Water Resources of Ukraine, employing methods of mathematical statistics, correlation analysis, spatial analysis, and geoinformation modelling. The analytical basis of the study consisted of the author's previous research devoted to the hydrochemical analysis of transboundary water bodies in Ukraine.

Within the study, the dynamics of the main hydrochemical indicators were analysed, including biochemical oxygen demand (BOD₅), dissolved oxygen concentrations, total suspended solids, phosphates, ammonium nitrogen, nitrates, nitrites, chlorides, and sulphates. The results indicate pronounced spatial and temporal heterogeneity in surface water quality within the studied basins, caused by the combined influence of natural hydrological features and anthropogenic pressures [5, 6].

In the Western Bug River basin, based on data from seven monitoring stations, a clear trend of water quality deterioration from upstream areas toward sites near urbanised areas and industrial facilities was identified. Relatively stable values of the studied indicators and lower levels of anthropogenic impact were recorded in the upper reaches of the river, whereas increased concentrations of organic and nutrient pollutants were observed in the areas of Sokal, Kamianka-Buzka, and Busk. Median BOD₅ values at some observation points exceeded 4-5 mg/dm³, phosphate concentrations in some observations exceeded regulatory limits established for fishery water bodies and reduced dissolved oxygen concentrations indicated intensified processes of organic pollution and eutrophication.

The analysis of water bodies within the Tysa sub-basin (the Rika and Tereblia rivers) demonstrated a more stable hydrochemical regime in the upper mountainous sections than in lowland, urbanized territories. At the same time, periodic increases in concentrations of nitrogen-containing compounds, suspended solids, and indicators of organic pollution were observed within settlements and areas of local economic activity. The obtained results indicate that even in relatively natural mountain basins, local anthropogenic pressure can significantly affect the ecological condition of surface waters.

Correlation analysis of hydrochemical indicators, performed using Python libraries, revealed statistically significant relationships among individual water quality parameters. A strong positive relationship was identified between BOD₅ and ammonium nitrogen, indicating a common source of organic pollution, as well as a negative correlation between dissolved oxygen concentrations and nutrient

components, indicating the development of eutrophication processes in certain sections of the river systems. Spatial analysis in QGIS enabled the identification of areas with increased risk of anthropogenic impact and potential zones for transboundary pollutant transport.

At the same time, the study identified a number of systemic limitations in the current surface water monitoring model in Ukraine. Among the main issues, the uneven spatial distribution of monitoring stations, differences in sampling frequency across years, incomplete time series, limited integration of biological and hydromorphological indicators, and insufficient digital integration and standardization of open environmental data were identified. These limitations complicate comprehensive basin-scale analysis and the full comparison of monitoring results with approaches applied in European Union member states.

Conclusions. The results of the study revealed pronounced spatial and temporal heterogeneity of hydrochemical indicators in the transboundary river basins of Ukraine, particularly in the Western Bug River basin and the Tysa sub-basin within the Danube River basin. Increased concentrations of organic and nutrient pollutants were identified in areas under higher anthropogenic pressure, confirming the impact of urbanized areas, industrial facilities, and agricultural land use on surface water quality. The identified limitations of the current monitoring system indicate the need to improve the spatial coverage of monitoring stations, integrate environmental data digitally, and adapt the national monitoring system to European approaches.

References

1. Гуртова К. М. Теорія і практика адаптації законодавства України до законодавства ЄС // Київський часопис права. – 2024. – № 4. – С. 162–168. – DOI: 10.32782/klj/2023.4.23.
2. Dzhumelia E., Ruda M., Shybanova A., Salamon I. Hydrochemical indicators dynamic in surface water of Ukraine: border areas with Poland and Slovakia case study // Ecological Engineering & Environmental Technology. – 2024. – Vol. 25, No. 12. – P. 305–314. – DOI: 10.12912/27197050/194986.
3. Dzhumelia E., Dzhumelia V. Hydrochemical analysis of surface water parameters dynamics in the Rika and Tereblia River (Ukraine) // Environmental Problems. – 2025. – Vol. 10, No. 1. – P. 26–35. – DOI: 10.23939/ep2025.01.026.
4. Dzhumelia E., Bernatska N., Dzhumelia V., Kochan O. Spatiotemporal Analysis of Hydrochemical Parameters in the Western Bug River, Lviv Region, Ukraine // European green dimensions: fundamental, applied, and industrial aspects: monograph – Mykolaiv : PMBSNU ; Bristol : UWE, 2025. – P. 64-81.
5. Стельмах В. Моніторинг якості вод в Україні в умовах воєнного часу // Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ» : proceedings of the International Scientific and Practical Conference (August 18, 2023; Cambridge, UK). – Cambridge, 2023. – С. 308–311. – DOI: 10.36074/logos-18.08.2023.85.
6. Pohrebennyk V., Koszelnik P., Mitryasova O., Dzhumelia E., Zdeb M. Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – Vol. 20, No. 9. – P. 53–61. – DOI: 10.12911/22998993/112342.

УЧАСТЬ ГРОМАДЯНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ТА УКРАЇНСЬКІ РЕАЛІЇ

CIVIL SOCIETY PARTICIPATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS: EUROPEAN EXPERIENCE AND UKRAINIAN REALITIES

*Микитин І. М., к.т.н., доцент, завідувач кафедри хімії,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника*

Анотація. У тезах розглянуто роль громадянського суспільства у функціонуванні систем моніторингу довкілля в контексті сучасних екологічних викликів та процесів європейської інтеграції України. Проаналізовано міжнародні підходи до забезпечення екологічної демократії, принципи Орхуської конвенції та практики залучення громадськості до збору екологічних даних у країнах Європейського Союзу. Особливу увагу приділено концепції citizen science як інструменту підвищення ефективності екологічного моніторингу. Наведено приклади успішних європейських і українських громадських ініціатив у сфері моніторингу атмосферного повітря, водних ресурсів та фіксації екологічних наслідків воєнних дій. Визначено основні переваги, обмеження та перспективи розвитку громадського екологічного моніторингу в Україні з урахуванням потреб інтеграції до європейського екологічного простору.

Ключові слова: моніторинг довкілля, громадянське суспільство, citizen science, екологічна демократія, якість повітря, екологічна безпека, європейська інтеграція.

Abstract. The article examines the role of civil society in environmental monitoring systems under contemporary environmental challenges and Ukraine's European integration processes.

International approaches to environmental democracy, the principles of the Aarhus Convention, and public participation practices in environmental data collection within European Union countries are analyzed. Particular attention is paid to citizen science as an effective tool for improving environmental monitoring. Examples of successful European and Ukrainian public initiatives in air quality monitoring, water resource assessment, and documenting environmental consequences of military activities are presented. The main advantages, limitations, and prospects for further development of public environmental monitoring in Ukraine are identified, considering the requirements of integration into the European environmental framework.

Keywords: environmental monitoring, civil society, citizen science, environmental democracy, air quality, environmental safety, European integration.

Сучасна екологічна політика дедалі більше ґрунтується на принципах відкритості, прозорості та залучення громадян до процесів ухвалення рішень. Участь громадянського суспільства у системах моніторингу довкілля є важливим чинником забезпечення екологічної безпеки, підвищення ефективності державного управління та реалізації принципів сталого розвитку. Особливої актуальності це питання набуває в умовах євроінтеграції України та зростання екологічних викликів, пов'язаних із воєнними діями.

Важливість розвитку громадянського суспільства підтверджується не лише політичними, але й економічними дослідженнями. Лауреати Нобелівської премії з економіки 2024 року Дарон Аджемоглу, Саймон Джонсон та Джеймс Робінсон у своїх роботах довели, що саме ефективні демократичні інституції забезпечують довгостроковий розвиток держав, сприяють технологічному прогресу та суспільному добробуту. У контексті

екологічної політики це означає, що активна участь громадян і незалежних організацій здатна підвищувати якість контролю за станом довкілля та сприяти екологічній відповідальності органів влади.

Міжнародні підходи до екологічної демократії були закладені ще Конференцією ООН з навколишнього середовища та розвитку, яка наголосила на необхідності залучення неурядових організацій до формування екологічної політики та оцінки стану навколишнього середовища. Важливим етапом стало прийняття Орхуської конвенції (1998), яка гарантує громадськості три ключові права: доступ до екологічної інформації, участь у прийнятті екологічно значущих рішень та доступ до правосуддя у питаннях довкілля.

У межах Європейського Союзу громадська участь стала одним із базових інструментів реалізації Європейської зеленої угоди, метою якої є досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. У документах ЄС наголошується, що громадяни повинні залишатися рушійною силою переходу до сталого розвитку. Саме тому в європейських країнах активно розвиваються механізми екологічної демократії, цифрові платформи екологічного моніторингу та громадська наука (citizen science).

Концепція citizen science передбачає участь волонтерів у наукових дослідженнях, зокрема у зборі екологічних даних. У країнах ЄС такі підходи активно інтегруються в системи моніторингу атмосферного повітря, кліматичних змін, шумового забруднення та стану водних ресурсів. Значний розвиток цього напрямку забезпечують програми Horizon 2020 та Horizon Europe, які фінансують проекти зі створення громадських обсерваторій довкілля.

Показовими є європейські приклади. У Бельгії громадська

обсерваторія Meet Mee Mechelen забезпечує взаємодію між громадянами та органами влади щодо контролю якості повітря і шумового навантаження в урбанізованих районах Фландрії. Проєкт KlimaatRobuust St-Andries в Антверпені об'єднує громадян, науковців та місцеву владу для дослідження теплового стресу в міському середовищі. В Іспанії платформа RitmeNatura.cat використовує дані громадян для оцінки локальних проявів зміни клімату та вдосконалення екологічної політики.

Використання citizen science має низку переваг:

- отримання значних масивів даних при мінімальних витратах;
- оперативне виявлення локальних екологічних проблем;
- формування екологічної свідомості населення;
- посилення взаємодії між суспільством, наукою та органами влади.

Водночас існують певні обмеження, серед яких:

- неоднорідність якості даних;
- відсутність уніфікованих методик;
- складність перевірки інформації;
- недостатня інтеграція громадських даних у державні системи моніторингу.

У країнах ЄС ці проблеми поступово вирішуються шляхом стандартизації процедур, цифровізації екологічного моніторингу та розвитку партнерства між державними структурами, науковими установами й громадськими організаціями.

В Україні участь громадськості у системах моніторингу довкілля також активно розвивається. Цьому сприяють процеси євроінтеграції, децентралізації та необхідність реагування на екологічні наслідки війни. Громадські організації та волонтерські ініціативи здійснюють моніторинг якості атмосферного повітря, контролюють стан водних ресурсів, фіксують екологічні наслідки

бойових дій та пошкодження екосистем.

Особливу роль відіграють незалежні системи моніторингу якості повітря. В Україні функціонують громадські екологічні платформи SaveDnipro, EcoCity, «Екодія», ЛУН Місто AIR та інші. Вони використовують мережі сенсорів, відкриті геоінформаційні сервіси та цифрові платформи для оперативного інформування населення про стан довкілля. Зокрема, система ЛУН Місто AIR забезпечує моніторинг якості атмосферного повітря в багатьох містах України, у тому числі в Івано-Франківську.

Важливим прикладом цифрової взаємодії громадськості та екологічного моніторингу є чат-бот Radiation and Smog Alarm мережі EcoCity, який забезпечує оперативне оповіщення населення про перевищення рівнів забруднення повітря, радіаційні чи хімічні загрози.

Окремого значення набуває громадська участь у фіксації екологічних злочинів та наслідків війни. Платформа «ЕкоЗагроза» дозволяє громадянам повідомляти про пожежі, забруднення водних ресурсів, руйнування екосистем і витoki небезпечних речовин із використанням фотофіксації та геолокації. Такі цифрові інструменти суттєво розширюють можливості екологічного моніторингу в умовах обмежених ресурсів державних структур.

Водночас подальший розвиток громадського екологічного моніторингу в Україні потребує:

- нормативного врегулювання використання громадських даних;
- уніфікації методик збору інформації;
- розвитку систем верифікації даних;
- інтеграції громадських платформ у державні системи моніторингу;

- розширення міжнародної співпраці.

Важливу роль у цьому процесі відіграють міжнародні освітні та наукові програми, зокрема Erasmus+ та ініціативи Жан Моне, які сприяють трансферу європейського досвіду, розвитку екологічної освіти та підготовці фахівців у сфері моніторингу довкілля.

Таким чином, участь громадянського суспільства стає важливим елементом сучасних систем екологічного моніторингу. Європейський досвід демонструє, що ефективна взаємодія держави, науки та громадськості здатна забезпечити підвищення якості екологічного управління та прозорості прийняття рішень. Для України розвиток таких механізмів є не лише складовою євроінтеграції, але й необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку в умовах сучасних викликів.

Список використаних джерел

1. Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters. Aarhus, Denmark, 25 June 1998.
2. European Commission. The European Green Deal. Brussels, 2019.
3. European Citizen Science Association (ECSA). Ten Principles of Citizen Science. London, 2015.
4. Про доступ до публічної інформації : Закон України від 13.01.2011 № 2939-VI.
5. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII.

Електронне наукове видання

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ГАРМОНІЗАЦІЯ УКРАЇНСЬКОГО ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗАКОНОДАВСТВА І ПРАКТИКИ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ»

20 травня 2026 року

Головний редактор – *Ольга ХАЦЕВИЧ*

Відповідальність за зміст та літературне редагування
тез доповідей несуть автори.

Підписано до друку 25.05.2026. Формат 60х84/16.
Гарнітура Times New Roman. Умовн. др. арк. 7,6.

Адреса редакційної ради:

76000, Івано-Франківська область, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Видавець

Карпатський національний університет
імені Василя Стефаника
76018, м. Івано-Франківськ, вул. С. Бандери, 1,
тел. 75-13-08, e-mail: plai.cit@cnu.edu.ua

Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8438 від 02.09.2025