МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТімені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології,
зеленої енергетики та сталого розвитку

ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ: ОСВІТА – НАУКА – ВИРОБНИЦТВО – 2026

Матеріали XXVIII Міжнародної науково-практичної конференції

ECOLOGY, ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT: EDUCATION – SCIENCE – PRODUCTION – 2026

ABSTRACTS OF THE XXVIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

Україна, м. Харків, 23-24 квітня 2026 року
Ukraine, Kharkiv, April 23-24, 2026

Електронний ресурс / Electronic resource

Харків – Kharkiv
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТімені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку

ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ: ОСВІТА – НАУКА – ВИРОБНИЦТВО – 2026

Матеріали XXVIII Міжнародної науково-практичної конференції

Україна, м. Харків, 23-24 квітня 2026 року

Електронний ресурс

Харків

2026

УДК 502/504(082)

Посвідчення Укр. ІНТЕІ № 947 від 10 грудня 2025 року
Затверджено до розміщення в мережі Інтернет
рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 9 від 25 травня 2026 р.)

Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2026 : зб. мат. XXVIII Міжнародної науково-практичної конференції (Україна, м. Харків, 23-24 квітня 2026 року) [Електронний ресурс]. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2026. – (PDF 262 с.)

URI https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/36147

Збірник складають матеріали доповідей, у яких розглядаються питання збалансованого природокористування, менеджменту довкілля, техногенної безпеки, природоохоронної діяльності та заповідної справи, а також найкращі практики екологічної освіти та питання міжнародного співробітництва задля охорони навколишнього середовища.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за добір, точність, достовірність наведених даних, фактів, цитат, інших відомостей .

Матеріали друкуються мовою оригіналу

Адреса редакційної колегії:

61022, м. Харків-22, майдан Свободи, 6, к. 481

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

e-mail: ecology.ecology@karazin.ua

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Erasmus+. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

URI https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/36147

© Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна, 2026
© Мельник Д.О., макет обкладинки, 2026

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY

Institute of Environmental Sciences, Green Energy and Sustainable Developments

ECOLOGY, ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT: EDUCATION – SCIENCE – PRODUCTION – 2026

ABSTRACTS OF THE XXVIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

Ukraine, Kharkiv, April 23-24, 2026

Electronic resource

Kharkiv

2026

УДК 502/504(082)

Registration certificate UkrINTEI (№ 947 desember 10, 2025)

Approved for posting on the Internet by the decision of the Academic Council in V.N. Karazin Kharkiv National University (Minutes №9 of May 25, 2026)

Ecology, environmental protection and balanced environmental management: education – science – production – 2026 : Abstracts of XXVIII International scientific conference (Ukraine, Kharkiv, April 23-24, 2026) [Electronic resource]. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 2026. – (PDF 262 p.)

URI https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/36147

The book contains abstracts on innovative approaches for environmental problem solutions, balanced nature management. environmental management, safety, environmental protection and conservation, best practices on environmental education and international cooperation for environmental protection.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за добір, точність, достовірність наведених даних, фактів, цитат, інших відомостей .

Матеріали друкуються мовою оригіналу

Адреса редакційної колегії:

61022, м. Харків-22, майдан Свободи, 6, к. 481

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

e-mail: ecology.ecology@karazin.ua

URI https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/36147

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Erasmus+. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

© Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2026
© Мельник Д.О., макет обкладинки, 2026

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова оргкомітету:

Ганна ТІТЕНКО директор Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, кандидат географічних наук, доцент.

Заступник голови оргкомітету:

Андрій АЧАСОВ в.о. завідувача кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, доктор сільськогосподарських наук, професор.

Члени оргкомітету:

Надія МАКСИМЕНКО в.о. завідувача кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, доктор географічних наук, професор.

Ілля МАРУЩЕНКО в.о. завідувача кафедри інформаційних технологій у відновлюваній енергетиці, кандидат фізико-математичних наук, заступник директора Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

Ігор КУДРЯВЦЕВ в.о. завідувача кафедри комп'ютерної фізики Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА заступник директора Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, доцент кафедри інформаційних технологій у відновлюваній енергетиці, кандидат технічних наук.

Аліна ГРЕЧКО доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, доктор філософії з наук про Землю, заступник директора Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

Олексій КРАЙНЮКОВ професор кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, доктор географічних наук, професор.

Михайло КУЛИК доцент кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, кандидат технічних наук, доцент.

Анатолій ЛІСНЯК доцент кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, кандидат сільськогосподарських наук, доцент.

Віталій КАРПОВ доцент кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

Анна КОТ ст. викладач кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

Олег СЕЛІВЕРСТОВ	ст. викладач кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.
Микола ШЕВЧЕНКО	професор кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, доктор сільськогосподарських наук, професор.
Наталя РИЧАК	доцент кафедри екології та менеджменту довкілля Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, кандидат географічних наук, доцент.
Алла НЕКОС	професор кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, доктор географічних наук, професор.
Алістер БОКСОЛЛ	професор кафедри екології та географії Університету Йорка (Велика Британія), PhD (за його згодою)
Катерина УТКІНА	дослідник Технологічного університету Лулео (Швеція), кандидат географічних наук (за її згодою).
Алла АЧАСОВА	співробітник Науково-дослідного інституту меліорації та охорони земель (Чехія) кандидат біологічних наук (за її згодою).
Олена СТЕПОВА	проректор з наукової роботи Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор (за її згодою).
Святослав БАЛЮК	директор ННЦ «ІҐА імені О.Н. Соколовського», академік НААН, доктор сільськогосподарських наук, професор (за його згодою).
Ангеліна ЧУГАЙ	завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, доктор технічних наук, професор (за її згодою).
Анатолій ГРИЦЕНКО	директор науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України (за його згодою).
Калев СЕПП	професор Естонського університету природничих наук (Естонія), DrSc (за його згодою).
Антон ШКАРУБА	старший науковий співробітник Естонського університету природничих наук (Естонія), кандидат географічних наук (за його згодою).
Лідія ГОРОШКОВА	професор кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія», доктор економічних наук, професор (за її згодою).
Олександр ГАРБАР	завідувач кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка, доктор біологічних наук, професор (за його згодою).
Ірина ШПАКІВСЬКА	кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу екосистемології Інституту екології Карпат НАН України (за її згодою).

ЗМІСТ

Вступ……. **16**

СЕКЦІЯ 1 ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

ENVIRONMENTAL MONITORING, POLLUTION ASSESSMENT AND ECOTOXICOLOGICAL SAFETY

Максименко В. О., Безсонний В. Л.
ГІБРИДНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЕМЛІ……... **18**

Buts Yuriy, Krainiuk Olena, Barbashyn Vitalii
DANGER OF SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS IN KHARKIV REGION UNDER THE INFLUENCE OF MILITARY OPERATIONS……..... **20**

Мартинюк А. С., Іваненко О. І.
ІННОВАЦІЙНІ ЦИФРОВІ ТА УПРАВЛІНСЬКІ ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЕКОСИСТЕМ У КОНТЕКСТІ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ…….. **22**

Крайнюков О. М., Щокіна М. М.
РОЛЬ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ У ФОРМУВАННІ СИСТЕМИ РАННЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА НОРМУВАННІ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ……..... **25**

Чугай А. В., Кошелєв В. Д.
ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я……... **27**

Кривицька І. А., Лаптєв Д. С.
ОЦІНКА ЛОКАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНОЗЕМІВ м. ХАРКОВА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ В УМОВАХ МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ…… **29**

Крайнюков О. М., Скляров А. В.
САНІТАРНО-МІКРОБІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ р. СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЗАГАЛЬНОГО МІКРОБНОГО ЧИСЛА ТА КОЛІФОРМНИХ БАКТЕРІЙ……... **32**

Кривицька І. А., Крайнюков О. М., Трущенко О. С.
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВОДИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ…….. **35**

Nekos A. N., Bezsonnyi V. L., Cherkashyna N. I., Khaduskina K.V.
IMPACT OF URBOSYSTEMS ON THE QUALITY OF RIVER WATERS WITHIN THE BORDERS OF KHARKIV……. **38**

Кулик М. І.
ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ м. ХАРКІВ У 2024 РОЦІ……... **41**
Кривицька І. А., Калугін В. М.
ОЦІНКА ФІТОТОКСИЧНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПИЛУ РІЗНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН МІСТА ХАРКОВА…… **43**
Комар С. Р., Некос А. В., Кочанов Е. О., Безсонний В. Л.
ОЦІНКА СЕЗОННИХ ЗМІН ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ФРАНКФУРТ-НА-МАЙНІ (НІМЕЧЧИНА) …….. **46**
Павлюк А. Л., Грицуляк Г. М.
БІОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ЛИСТЯ ДЕРЕВ ПІД ВПЛИВОМ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ…… **48**
Огілько С. П.
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ТВЕРДИХ ПИЛОВИХ ЧАСТИНОК: АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ **49**
Залізняк Я. І.
ОЦІНКА СТІЙКОСТІ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ РІЧОК УКРАЇНИ ДО ТРАНСКОРДОННОГО ТА ЛОКАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ…… **52**
Черняк Л. М., Кварєлашвілі Д. В., Відмаченко В. О., Манєцкі Томаш, Чішельскі Радослав, Штика Олександр
ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ…….. **55**
Науменко Д. О., Карпов В. Г.
МАКРОСМІТТЯ ЯК ІНДИКАТОР ФУНКЦІОНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА БЕРЕГОВУ ЗОНУ ЗАТОКИ НЯЧАНГ (В'ЄТНАМ) **57**

СЕКЦІЯ 2. ВОЄННИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ПОВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ
WAR-RELATED ENVIRONMENTAL IMPACTS, ENVIRONMENTAL SAFETY AND POST-WAR RECOVERY

Кучер А. В.
ПІСЛЯВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ……... **60**
Гречко А. А., Радченко Д. Р.
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ПОЛЬОВЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТЕРИТОРІЇ САЛТІВСЬКОГО РАЙОНУ В КОНТЕКСТІ КОНЦЕПЦІЇ ЗЕЛЕНОГО ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ…… **64**
Грищенко О. М., Пташнік М. М., Гунчак М. В., Литвиненко І. В.
ПРОСТОРОВА НЕОДНОРІДНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ РУХОМИМИ ФОРМАМИ СВИНЦЮ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ…… **67**

Поліщук А., Коренюк Л.В.
ВПЛИВ ВОЄННОГО СТАНУ НА ТЕМПИ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ…….. **70**
Кугай В., Коренюк Л.В.
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ В УКРАЇНІ…….. **72**
Воробей А. В., Воробей Ю. О., Логоша О. В., Кальчицька Г. В.
ВПЛИВ РАКЕТНИХ УРАЖЕНЬ НА СТАН МІКРОБОЦЕНОЗУ ҐРУНТУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО БІОЛОГІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ……. **74**
Husieva, K. D., Popova, L. O., Shablii, O. V.
URBAN RECOVERY STRATEGIES IN THE CONTEXT OF WAR IN UKRAINE…… **76**
Гололобов В. В.
РЕВІТАЛІЗАЦІЯ РЕГУЛЯРНОЇ ПАРКОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ ПАЛАЦОВО-ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСУ «САДИБА» З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ ЛАНДШАФТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ…… **79**
СЕКЦІЯ 3. СТАЛЕ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ, ҐРУНТОЗНАВСТВО ТА АГРОЕКОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ
SUSTAINABLE LAND USE, SOIL SCIENCE AND AGROECOLOGICAL SYSTEMS
Nunes L. J. R, Butrym O. V., Panchenko, G. G., Yakymchuk, A. Y.
SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY OF THE AGROECOSYSTEM AS A TOOL FOR ENSURING SUSTAINABLE LAND USE UNDER THE POST-WAR RECONSTRUCTION…….. **83**
Рудник-Іващенко О. І., Михальська Л. М., Шварtау В. В.
БАЗОВІ ПИТАННЯ З ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРОБЛЕМАТИКИ СУЧАСНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА…… **87**
Крюкова І. О., Степанова М. М.
НАПРЯМИ ТА ПРІОРИТЕТИ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ АГРОСЕКТОРУ УКРАЇНИ…… **90**
Фандалюк А. В., Бандурович Ю. Ю., Полічко В. С.
ДОСЛІДЖЕННЯ ҐРУНТІВ ПОЛОНИНИ БОРЖАВА ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗЕЛЕНОЇ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ……. **93**
Лісняк А.А., Захаренко Д.О.
ВПЛИВ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА АГРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО…… **96**

Доронін А. В.
ЗБАЛАНСОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПОЖНИВНИХ РЕШТОК ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА ЯЧМЕНЮ ДЛЯ ПОТРЕБ БІОЕНЕРГЕТИКИ…… **100**
Пищур І. М.
МІКРОБІОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ СПОЛУК ФОСФОРУ В РИЗОСФЕРІ КАРТОПЛІ ЗА ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ…. **103**
Шакалій С. М.
АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ЗЕРНА ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ПОЛТАВСЬКІЙ ОБЛАСТІ…….…….... **105**
Чабан В. І., Подобед О. Ю.
ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ АГРОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ…….……... **108**
Денисюк К. В.
БІОФОРТИФІКАЦІЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ β-КАРОТИНОМ ЯК СКЛАДОВА «ЗЕЛЕНИХ» АГРОБІОТЕХНОЛОГІЙ…… **110**
Савченко І. Ф., Рихлівський П. А.,Коновал О. О., Бражевський В. В.
СВІТОВІ ІННОВАЦІЇ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ У СУЧАСНОМУ ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ. …… **112**
Савченко І. Ф., Присяжний В. Г., Рихлівський П. А., Коновал О. О.
ВПЛИВ АБСОРБЕНТУ НА ЩІЛЬНІСТЬ ҐРУНТУ ТА ЯКІСТЬ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ…….……... **115**
Лісняк А. А., Обченко М.О.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИМОЧУВАННЯ ОВОЧІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НІТРАТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА……. **117**
Білокобильська А. І., Огурцов Ю. Є.
ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТУ ТА МІКРОДОБРИВАМИ НА ФОРМУВАННЯ ПЛОЩІ ЛИСТЯ БАТЬКІВСЬКИХ ФОРМ СОНЯШНИКУ……. **121**
Поливаний С. В.
ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ АНТИГІБЕРЕЛІНОВОГО ПРЕПРАТУ ХЛОРМЕКВАТХЛОРИДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ РОСЛИН ГІРЧИЦІ…… **124**
Худоярова О. С., Маслова Д.В.
ЕКОЛОГО-ХІМІЧНІ АСПЕКТИ СТАБІЛЬНОСТІ ВІТАМІНІВ ГРУПИ В.. **127**
Козар С. Ф., Воробей Ю. О., Логоша О. В.
СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА МЕТААНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БАКТЕРІЙ РОДУ *AZOTOBACTER*…….……... **129**

Балабак О. А., Прошкін В. А.
ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ…… **132**
Гнатюк Н. О.
АЛЕЛОПАТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ЯК ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРОЕКОСИСТЕМ…… **134**
Полагенько О. С., Чесак М. Г.
ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЯК РЕСУРС ЗНИЖЕННЯ СТРЕСУ У ФЕРМЕРСЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ…… **137**
Кот А. Г.
РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ…… **139**
Тараненко А. О., Нагірна А. О.
ОЦІНКА ЕМІСІЙНОГО ПРОФІЛЮ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ АГРОПІДПРИЄМСТВА В КОНТЕКСТІ КЛІМАТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ…… **142**
Боровенський А.С., Тітенко Г. В.
RED III ТА EUDR ЯК ЧИННИКИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В АГРОСЕКТОРІ УКРАЇНИ…….. **145**
Немошкалов О.М., Ачасов А. Б.
ВЕРИФІКАЦІЯ ТА КОРЕГУВАННЯ ПОВНОТИ ГЕОПРОСТОРОВОЇ БАЗИ ДАНИХ ПОШКОДЖЕНЬ АГРОЛАНДШАФТІВ ХАРКІВСЬКОГО РАЙОНУ…… **148**
Килимнюк О.І.
ВПЛИВ КОМПОЗИЦІЙ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З ДОДАВАННЯМ ЕФІРНИХ ОЛІЙ НА ПОКАЗНИКИ РОСТУ І ВИТРАТИ КОРМУ У МОЛОДНЯКУ ГУСЕЙ…… **150**

СЕКЦІЯ 4. УРБОЕКОЛОГІЯ, ЗЕЛЕНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ЕКОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ МІСТ

URBAN ECOLOGY, GREEN INFRASTRUCTURE AND ECOLOGICAL TRANSFORMATION OF CITIES

Utkina K., Ashley R. M., Sun Z., Adhikari U. Randrup T. B., Blecken G.-T., Viklander M.
BLUE AND GREEN INFRASTRUCTURE IN CITIES: MULTIPLIED BENEFITS FOR THE SOCIETY…… **154**

Карандюк Д. А.,
ПРИНЦИПИ АЛГОРИТМІЧНОГО АНАЛІЗУ МІСТОБУДІВНОГО КОНТЕКСТУ ЯК ПЕРЕДУМОВА ЕКОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ У ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ…….……... **158**
Федонюк В. В., Іванців Я. В., Толстушко А. М.
ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ «ЗЕЛЕНИХ» ЗУПИНОК В ЛУЦЬКУ…. **161**
Шпаківська І. М.
ВІКОВІ ДЕРЕВА У МІСТАХ: ВИГОДИ ТА ЗАГРОЗИ (КЕЙС м.ЛЬВОВА). **164**
Добровольська О. Г., Фостащенко О. М., Резуненко А. А.
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ВОДОПРОПУСКНОГО ОБЛАДНАННЯ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ…….…… **167**
Добровольська О. Г., Макух М. М.
ВІДБУДОВА МАЛОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ З ВПРОВАДЖЕННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ…….……..…….. **169**
Коробчук Л. І., Рибачук М. В.
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ У КОНТЕКСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТПВ В УКРАЇНІ……. **171**
Коробчук Л. І., Романюк А. С.
ЕКОЛОГІЧНА ДЕСТРУКЦІЯ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ВПЛИВОМ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ……... **172**
Поліщук С.М., Василенко О.В.
РОЛЬ БІОРІЗНОМАНІТТЯ У ФОРМУВАННІ СТІЙКИХ МІСТ…… **174**
Балабак О. А., Бородієнко В. О., Плаксицький В. А.
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОСЛИН ГІРКОКАШТАНУ ЗВИЧАЙНОГО ТА КАШТАНУ ЇСТІВНОГО В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ…….……. **177**
Балабак О. О.
ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОВИДОВИХ ТАКСОНІВ РОДУ *CORYLUS L.* ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ САДОВО-ПАРКОВИХ ЛАНДШАФТІВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ…… **179**
Гончар Н. О.
WISTERIA SPP. У СИСТЕМІ ЛАНДШАФТІВ НДП «СОФІЇВКА» НАН УКРАЇНИ: ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ, АДАПТАЦІЯ ТА ВПЛИВ НА УРБОЕКОСИСТЕМИ……. **181**

Максименко Н. В., Коротецька Є. С., Тертицький Є. П. **183**
ОЦІНКА ПРОСТОРОВОЇ ТА ЛОГІСТИЧНОЇ ДОСТУПНОСТІ РЕКРЕАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАКАРПАТТЯ……
Панова М.С., Тітенко Г.В.
ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА КОМПЛЕКСНОГО ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ РОГАНСЬКОЇ СЕЛИЩНОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ **187**
Проценко А. О., Тітенко Г. В.
ВІДНОВЛЕННЯ СОРОЧИНСЬКОГО ЯРМАРКУ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВЕЛИКОСОРОЧИНСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ…… **190**

СЕКЦІЯ 5. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І КЛІМАТИЧНО НЕЙТРАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

RENEWABLE ENERGY, ENERGY EFFICIENCY AND CLIMATE-NEUTRAL TECHNOLOGIES

Lebedeva I. L.
SOLAR ENERGY: DEVELOPMENT OPPORTUNITIES IN UKRAINE…….. **193**
Гарячевська І. В., Протектор Д. О., Содін Є. С.
ВИКОРИСТАННЯ PINN ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОБОВОЇ СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ…….. **196**
Рибальченко Є.С., Кудрявцев І.М.
ПРОЕКТУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ…. **200**
Міхнич В. О.
ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЯК УМОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА СТАЛОЇ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ…… **203**

СЕКЦІЯ 6. ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА, ВІДХОДИ ТА ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

CIRCULAR ECONOMY, WASTE MANAGEMENT AND GREENING OF PRODUCTION

Крайнюков О. М., Проненко М. О.
УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДХОДІВ У КОНТЕКСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛІ 12 СТАЛОГО РОЗВИТКУ… **207**
Тихенко О. М., Коновалов А. О.
АНАЛІЗ СВІТОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ ПОВОДЖЕННЯ ІЗ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ…… **210**
Пасенко А. В., Гахова О. І.
ІННОВАЦІЙНА ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЯ КОМПОСТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ…….. **213**

Воденнікова О. С.
«ЗЕЛЕНА» МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ: КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ ТА ПРОГНОЗИ РОЗВИТКУ……. **214**
Нестеренко Т. М.
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТИТАНОВОЇ СТРУЖКИ…… **217**
Рудницький В. А., Корнієнко І. М., Кузнєцова О. О., Кузь Т. В.
СТАЛИЙ РОЗВИТОК ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОБІОТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА ДОСВІДУ КРАЇН ЄС ПРИ ФОРМУВАННІ РЕЦЕПТУРИ ВИРОБНИЧОГО ПОЖИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ КУЛЬТИВУВАННЯ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ…… **220**
Балабак О. А., Мельник О. Б.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННОГО МОЛОКА З ЯДЕР ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА…… **223**

СЕКЦІЯ 7. ЕКОЛОГІЧНА ПОЛІТИКА, УПРАВЛІННЯ, ОСВІТА ТА КОМУНІКАЦІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

ENVIRONMENTAL POLICY, GOVERNANCE, EDUCATION AND COMMUNICATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Ачасова А. О.
ПРОБЛЕМИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЕВРОПЕЙСЬКОГО ЗАКОНОДАВСТВА З МОНІТОРИНГУ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ…….. **225**
Хрутьба В. О.
ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ МІЖНАРОДНИХ ПРОЄКТІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ……... **229**
Остапенков Л. Л., Непошивайленко Н. О.
ВПРОВАДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВУГЛЕЦЕВОГО КОРИГУВАННЯ ІМПОРТУ В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ…….. **232**
Василенко О. В.
ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ЗЕЛЕНИЙ КУРС ЯК СТРАТЕГІЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ ……...…… **235**
Макєєва Д.С., Ричак Н. Л., Маляр Д. В.
ІНСТИТУЦІЙНА СПРОМОЖНІСТЬ РЕГІОНАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ КРИЗОВИХ ВИКЛИКІВ **237**
Безсонний В. Л., Некос А. В.
ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК У СТАНДАРТАХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ БАКАЛАВРСЬКОГО І МАГІСТЕРСЬКОГО РІВНІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ……..…… **241**

Ципіна Д. С.
СТАЛИЙ РОЗВИТОК У ВИВЧЕННІ ІНОЗЕМНИХ МОВ: ОСНОВНІ ВИКЛИКИ..... **244**
Староста В. І.
ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ В ПОЧАТКОВІЙ ШКОЛІ: ВІД ЕМОЦІЙНО-ЦІННІСНОГО СТАВЛЕННЯ ДО СТАЛОГО МАЙБУТНЬОГО..... **247**
Некос А. Н., Уварова С. Д., Шабалін А. Ю.
ЕКОПРОСВІТА ШКОЛЯРІВ У АСПЕКТІ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО СПРЯМОВАНИХ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ..... **250**
Кривицька І. А., Дяченко Л. Б.
АДАПТАЦІЯ ЗМІСТУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ЗАКЛАДАХ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ ДО ВИКЛИКІВ ЕКОЦИДУ..... **254**
Антонець М. О.
ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПСИХОЛОГІЇ У ПДАУ..... **257**
Вялий К.М.
ЕКОЛОГІЧНИЙ ПРОЄКТ “ЧИСТЕ СЕЛИЩЕ – ЧИСТА УКРАЇНА – ЧИСТА ПЛАНЕТА”..... **260**

ВСТУП

Сучасні екологічні виклики з якими стикається Україна та міжнародна спільнота потребують не лише глибокого наукового аналізу, а й відповідальних практичних рішень, спрямованих на відновлення довкілля, підвищення екологічної безпеки, зміцнення стійкості громад і забезпечення збалансованого природокористування.

Збірка тез XXVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2026» / ECOLOGY & RECOVERY 2026 репрезентує широкий спектр сучасних досліджень, прикладних розробок і управлінських підходів у сфері екології, охорони довкілля, зеленої відбудови, сталого природокористування, екологічної освіти та інноваційних природоохоронних технологій.

Фокусні проблеми конференції відображають найактуальніші напрями сучасної екологічної науки та практики. Це, зокрема, моніторинг і оцінка забруднення компонентів довкілля, екотоксикологічна безпека, вплив воєнних дій на ґрунти, водні об’єкти, атмосферне повітря та біоту, екологічні засади повоєнної відбудови, стале землекористування, агроекологічна трансформація, розвиток зеленої та блакитної інфраструктури міст, відновлювана енергетика, енергоефективність, поводження з відходами, екологізація виробництва, кліматична політика, впровадження європейських екологічних стандартів, екологічна освіта та просвіта.

У конференції взяли участь представники закладів вищої освіти, науково-дослідних установ, громадських організацій, бізнесу, екологічних асоціацій, ліцеїв, наукових центрів і міжнародних партнерських інституцій.

Міжнародний вимір конференції був представлений учасниками та партнерами зі Швеції, Чехії, Німеччини, Польщі, Португалії, Естонії та Індонезії. Серед учасників конференції були представники Estonian University of Life Sciences (Estonia), Luleå University of Technology (Sweden), Research Institute for Soil and Water Conservation in Prague (Czech Republic), Eberswalde University for Sustainable Development (Germany),

Polytechnic University of Viana do Castelo (Portugal), University of Information Technology and Management in Rzeszów (Poland), Lodz University of Technology (Poland).

Конференція мала широку всеукраїнську географію. До участі долучилися представники таких областей України як Харківська, Київська, Львівська, Одеська, Дніпропетровська, Запорізька, Полтавська, Волинська, Черкаська, Закарпатська, Вінницька, Чернігівська, Івано-Франківська, Херсонська, Чернівецька. Серед українських учасників конференції були представники Каразінського університету, ХНЕУ імені Семена Кузнеця, НТУ, ХНАДУ, ХНУМГ імені О. М. Бекетова, КНУ імені Тараса Шевченка, КПІ імені Ігоря Сікорського, ОНУ імені І. І. Мечникова, КАІ, ЗНУ, ЛНТУ, УНУ, ПДАУ, УжНУ, ВДПУ імені Михайла Коцюбинського, УМСФ, НАОМА та інших закладів. Також були представлені установи НАН України, НААН України, ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», Інститут екології Карпат НАН України, НДП «Софіївка» НАН України, Інститут агроекології і природокористування НААН, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, Інститут зернових культур НААН, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, Інститут механіки і автоматики агропромислового виробництва НААН, Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН, Інститут садівництва НААН, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України.

Окреме значення мала участь громадського та професійного сектору, зокрема, Офісу сталих рішень та Асоціації професіоналів довкілля.

Організаційний комітет висловлює щиру вдячність усім учасникам конференції, авторам тез, keynote speakers, науковим керівникам, партнерам, освітянам, молодим дослідникам і представникам професійної спільноти, які долучилися до підготовки та проведення цього наукового заходу. Сподіваємося, що ця збірка стане корисним джерелом наукової інформації для всіх, хто працює задля збереження довкілля, сталого розвитку громад та зеленої відбудови України.

Організаційний комітет конференції

СЕКЦІЯ 1. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

ENVIRONMENTAL MONITORING, POLLUTION ASSESSMENT AND ECOTOXICOLOGICAL SAFETY

УДК 504.4.064:004.8

ГІБРИДНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЕМЛІ

***[1]Максименко В. О.**, аспірант, [1,2]**Безсонний В. Л.**, д.т.н.*

[1]Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

[2]Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна

Сучасний стан поверхневих вод України формується під впливом інтенсивного антропогенного навантаження, техногенних аварій і воєнних дій, що істотно ускладнює здійснення традиційного екологічного контролю. У статті Максименка В. О. обґрунтовано доцільність створення гібридної інтелектуальної системи моніторингу, яка поєднує методи дистанційного зондування Землі, сучасні архітектури комп’ютерного зору та генеративний штучний інтелект для оцінювання стану поверхневих вод і підтримки екологічно значущих управлінських рішень. Як основне джерело даних запропоновано використовувати мультиспектральні супутникові знімки Sentinel-2 місії Copernicus, які забезпечують високу просторову й часову роздільну здатність та дають змогу оперативно фіксувати зміни якості води на великих територіях.

Для кількісної оцінки стану водних об’єктів у роботі запропоновано застосовувати спеціалізовані спектральні індекси. Індекс NDCI доцільно використовувати для виявлення евтрофікації та цвітіння водоростей, а індекс NDTI – для контролю каламутності води, спричиненої завислими речовинами та переміщенням донних відкладень. Особливу увагу приділено каналам Red Edge супутника Sentinel-2, які підвищують точність ідентифікації біомаси фітопланктону в оптично складних водних середовищах. Такий підхід дозволяє отримувати більш інформативні характеристики екологічного стану водойм порівняно з традиційними точковими спостереженнями.

Ключовим елементом запропонованої системи є використання архітектури Vision Transformer для задач семантичної сегментації водних поверхонь. На відміну від класичних згорткових нейронних мереж, трансформерна архітектура дає змогу враховувати глобальний просторовий контекст зображення, що особливо важливо під час аналізу протяжних річкових систем, зон затоплення, осушених водосховищ і ділянок локального забруднення. Це підвищує точність виділення меж водних

об’єктів, а також покращує виявлення аномальних змін у ландшафтно складних умовах. Наукова новизна роботи полягає саме в інтеграції підходів комп’ютерного зору нового покоління до задач екологічного моніторингу внутрішніх вод України.

Окремий модуль системи орієнтований на автоматизовану семантичну інтерпретацію отриманих результатів. Для цього запропоновано використання великих мовних моделей у поєднанні з технологією Retrieval-Augmented Generation. Такий підхід забезпечує формування текстових екологічних висновків і звітів на основі верифікованих джерел, а не лише параметричної пам’яті моделі, що знижує ризик фактологічних помилок. Поєднання супутникового спостереження, інтелектуальної обробки зображень і RAG-інтерпретації дозволяє перейти від простої фіксації змін до формування обґрунтованих висновків щодо причин аномалій, потенційних наслідків та можливих заходів реагування.

Практичне значення запропонованої системи полягає в можливості отримання перевірених даних про екологічні ризики без фізичної присутності дослідників у небезпечних зонах. Це особливо важливо в умовах воєнного стану, мінної небезпеки та обмеженого доступу до постраждалих територій. Система може бути використана для оперативного виявлення зон екологічної небезпеки, підтримки рішень у сфері відновлення довкілля, пріоритезації природоохоронних заходів і оцінювання довготривалих наслідків техногенних катастроф. Таким чином, запропонована гібридна система є перспективним інструментом цифрової екології та відповідає сучасним потребам екологічної стійкості й відновлення України.

Література

1. Mishra S., Mishra D. R. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 117. P. 394–406.

2. Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A. et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. ICLR. 2021.

3. Lewis P., Perez E., Piktus A. et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. NeurIPS. 2020. Vol. 33. P. 9459–9474.

4. Policy and technical brief on use of Earth observations to assess ecosystems damage in Ukraine. UNECE. 2024.

UDC 504.064.2 (477.54)

DANGER OF SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS IN KHARKIV REGION UNDER THE INFLUENCE OF MILITARY OPERATIONS

***Yuriy BUTS**, Doctor of Technical Sciences, Professor,*
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
***Olena KRAINIUK**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
***Vitalii BARBASHYN**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine

The armed aggression in eastern Ukraine caused significant damage to the environment, in particular to the soil cover in regions that experienced significant intensive shelling. The purpose of the study was the technogenic-ecological risk of heavy metal (HM) contamination of soils in the eastern part of the Kharkiv region under the influence of military operations. The research was conducted using the latest monitoring and laboratory analysis methods, as well as calculating the level of environmental risk of heavy metal contamination in the territories of lands that were subjected to rocket and artillery shelling [1-5].

The presented research results are based on the results of a comprehensive expedition organized in the Izyum district, in the east of the Kharkiv region. This region suffered the most extensive destruction from artillery shelling and bombing. Experimental studies were conducted in the laboratory of ecological and analytical research on the basis of the Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems" (UKRNDIEP) (Kharkiv). The key method for determining the content of heavy metals is atomic absorption spectroscopy (AAS), which provides high reliability and accuracy of measurements. The analysis revealed such toxic chemical elements as Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, as well as a number of associated heavy metals (Fe, Cr, Mn).

The interpretation of the research results was based on the latest approaches to assessing technogenic and ecological risk. First, the Contamination Factor (CF) was calculated, which indicates how many times the concentration of HM exceeds the natural geochemical background level. Then the Geoaccumulation Index (Igeo) was calculated, which allows us to establish whether the increase in the HM content is the result of technogenic impact, in particular military operations. At the final stage, the integral Potential Ecological Risk Index (PERI) was calculated. This indicator indicates the toxicity of an individual HM and predicts the likely consequences of its accumulation for the soil cover.

The obtained data of a comprehensive field and laboratory study of technogenic and ecological soil contamination in the east of the Kharkiv region were focused on lands that were significantly affected by artillery and air strikes. Soil samples were collected

from 12 explosion craters in representative key areas of Izyum district using georeferenced soil sampling methods.

The results of the studies demonstrate significant excesses of background levels for in soils, especially heavy metals such as Zn, Pb and Cu. At the same time, the contamination is significantly correlated with the composition of ammunition and metal fragments. Pollution indicators, in particular the contamination coefficient (CF), the geoaccumulation index (Igeo) and the potential ecological risk index (PERI), indicate moderate ecological risks on the studied lands. The maximum PERI values were found in places of direct combat operations, which emphasizes the long-term ecological consequences of the war.

A direct relationship between the composition of modern ammunition and the nature of soil contamination has been identified. The results emphasize the need to implement integrated "smart" monitoring systems that combine analytical chemistry, geoinformation technologies, and index risk assessment to ensure effective environmental control in war-affected areas. The obtained ecogeochemical assessment lays the scientific foundation for developing a strategy for reclamation and sustainable restoration of affected areas, and is also important for shaping environmental security policies in war conflicts.

References

1. Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Сухов В.В., Лісняк А.А, Катковнікова Л.А. Екогеохімічна оцінка забруднення важкими металами ґрунтового покриву Ізюмського району під впливом бойових дій. № 63 (2025): Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». С. 530-541. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-39

2. Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Пономаренко Р. В., Каграманян А. О., Барбашин В. В. Техногенно-екологічна небезпека впливу військових дій на ґрунтовий покрив Харківщини. Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». Випуск 18 (2/2025). С. 14-22. https://doi.org/10.52363/2522-1892.2025.2.2

3. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskyi V.V., Darmofal E.A., Kalynovskyi A.Y., Maniuk V.V. Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region. (2025) Journal of Geology, Geography and Geoecology, 34(2), 304-317. doi:10.15421/112502

4. Krainiuk Olena, Buts Yurii, Barbashyn Vitalii Environmental Consequences of Military Operations in Ukraine on the Example of The Kharkiv Region Theoretical and applied aspects of sustainable development of Ukrainian regions : scientific monograph. Volume 1. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2025. P. 275-298. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-539-6-12

5. Krainiuk O.V., Buts Yu.V., Barbashyn V.V., Krainiuk M.Yu. Evaluation of Heavy Metal Soil Contamination in a War Zone of Kharkiv Region, Ukraine Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Scientific Exploration: Bridging Theory and Practice» (March 24-26, 2025. Berlin, Germany). European Open Science Space, 2025. P.327-338. https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2025/03/Berlin_Germany-_24.03.25.pdf

УДК 504.064:004.9

ІННОВАЦІЙНІ ЦИФРОВІ ТА УПРАВЛІНСЬКІ ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЕКОСИСТЕМ У КОНТЕКСТІ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ

***Мартинюк А. С.**, магістрант кафедри парламентаризму Навчально-наукового інституту публічного управління та державної служби Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.*

***Іваненко О. І.**, д.т.н., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ Україна.*

Екологічна безпека радіоактивно забруднених територій в Україні формується під впливом поєднання техногенних, природних та воєнних чинників, що зумовлює підвищений рівень невизначеності та складність прогнозування екологічних процесів. Такі екосистеми характеризуються потенційною здатністю до повторного вивільнення радіонуклідів, що створює довгострокові ризики для довкілля та населення. Особливим прикладом територій із такими характеристиками є Чорнобильська зона відчуження, функціонування якої регулюється спеціальним правовим режимом і яка виступає унікальним полігоном для впровадження сучасних підходів до екологічного моніторингу [1]. Додатково ускладнює ситуацію деградація природних бар'єрів та зростання частоти екстремальних природних явищ, зокрема пожеж. Традиційні підходи до моніторингу, засновані на фрагментарних спостереженнях, не забезпечують належного рівня екологічної безпеки [1; 2].

У контексті реалізації концепції зеленого переходу особливого значення набуває впровадження інноваційних цифрових та управлінських підходів до моніторингу екосистем, що дозволяють перейти від реактивного до проактивного управління екологічними ризиками [3].

Система моніторингу радіоактивно забруднених екосистем в Україні залишається обмежено інтегрованою та недостатньо цифровізованою, що знижує її ефективність у контексті своєчасного виявлення екологічних загроз. Особливо це проявляється у випадках швидкоплинних процесів, таких як лісові пожежі або вторинне перенесення радіонуклідів, що є характерними, зокрема, для Чорнобильської зони відчуження, де затримка у прийнятті рішень може призводити до значного посилення негативних наслідків [2]. Додатковою проблемою є фрагментація інформаційних потоків між різними органами управління, що ускладнює формування цілісної картини стану довкілля.

Інноваційні цифрові рішення, зокрема геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, супутниковий моніторинг та аналітичні платформи обробки великих даних, дозволяють забезпечити безперервний збір, інтеграцію та аналіз екологічної інформації [4]. Їх використання відкриває можливості для виявлення просторово-часових закономірностей розвитку небезпечних процесів, а також для

моделювання сценаріїв їх подальшої еволюції. Це, у свою чергу, сприяє переходу до управління, заснованого на даних, яке відповідає сучасним вимогам екологічної політики та принципам сталого розвитку.

Важливим доповненням до цифровізації є впровадження ризик-орієнтованого підходу до управління, який передбачає системну ідентифікацію, оцінку та пріоритезацію екологічних ризиків. Такий підхід дозволяє зосередити управлінські ресурси на найбільш критичних напрямах та підвищити ефективність превентивних заходів. У цьому контексті особливого значення набуває поєднання аналітичних можливостей цифрових технологій із інституційними механізмами прийняття рішень.

Для узагальнення ключових проблем та напрямів їх вирішення доцільно використати систематизацію, наведену у таблиці 1.

Таблиця 1

Інноваційні підходи до моніторингу радіоактивно забруднених екосистем

Проблема	Традиційний підхід	Інноваційний підхід
Фрагментарність даних	Локальні вимірювання	Інтегровані геоінформаційні системи
Обмежений моніторинг	Періодичні спостереження	Супутниковий моніторинг у реальному часі
Реактивне управління	Ліквідація наслідків	Ризик-орієнтоване управління
Низька аналітичність	Ручна обробка	Обробка великих даних та аналітичні платформи
Обмежена прозорість	Закриті дані	Відкриті екологічні інформаційні системи

Аналіз таблиці 1 свідчить, що впровадження інноваційних підходів дозволяє трансформувати систему моніторингу від фрагментарної та реактивної до інтегрованої та проактивної, що особливо актуально для складних територій, таких як Чорнобильська зона відчуження. Це створює передумови для більш ефективного управління екологічними ризиками та підвищення рівня екологічної безпеки.

Водночас ефективність таких змін значною мірою залежить від інституційної спроможності системи публічного управління, зокрема від рівня координації між суб’єктами, узгодженості їх повноважень та здатності інтегрувати цифрові рішення у процес прийняття управлінських рішень. У цьому аспекті важливу роль відіграють інструменти публічного та екологічного аудиту, які забезпечують не лише оцінку результативності управлінських рішень, але й системний аналіз ефективності державної політики, рівня досягнення екологічних цілей та раціональності використання ресурсів відповідно до принципів INTOSAI [5]. Їх застосування сприяє підвищенню прозорості, підзвітності та обґрунтованості управлінських рішень, що є необхідною умовою реалізації політики зеленого переходу та формування ефективної системи екологічного врядування.

Ефективний моніторинг радіоактивно забруднених екосистем виступає ключовою передумовою забезпечення екологічної безпеки та потребує переходу до

інноваційних моделей управління, що поєднують цифрові технології із сучасними управлінськими підходами. Інтеграція геоінформаційних систем, дистанційного зондування та аналітичних платформ обробки даних забезпечує підвищення точності оцінки стану довкілля, своєчасності реагування на екологічні загрози та можливості їх прогнозування, формуючи основу для управління, заснованого на даних.

У цьому контексті ризик-орієнтований підхід набуває системного значення, оскільки дозволяє оптимізувати управлінські рішення шляхом пріоритезації найбільш критичних загроз і посилення превентивної складової екологічної політики. Його впровадження сприяє переходу від фрагментарного реагування до комплексного управління екологічними ризиками, що особливо актуально для територій із підвищеним рівнем техногенного навантаження, зокрема Чорнобильської зони відчуження. Водночас результативність таких трансформацій безпосередньо залежить від рівня інституційної координації, узгодженості функцій суб'єктів управління та інтеграції цифрових рішень у систему публічного врядування.

Відповідно, ключовими напрямами вдосконалення виступають розвиток цифрового моніторингу, впровадження інструментів публічного та екологічного аудиту, а також формування єдиного інформаційного простору, що забезпечує інтеграцію даних і підвищення якості управлінських рішень. Сукупна реалізація цих підходів створює передумови для переходу до проактивного, адаптивного та науково обґрунтованого управління екологічними ризиками, що відповідає принципам сталого розвитку та цілям зеленого переходу, а також формує основу для підвищення інституційної спроможності держави у сфері екологічної безпеки.

Література

1. Верховна Рада України. (1991). *Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи* № 791а-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12#Text

2. Верховна Рада України. (1991). *Про охорону навколишнього природного середовища* № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12

3. Кабінет Міністрів України. (2017). *Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь*. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf

4. International Atomic Energy Agency. (2015). *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (GSR Part 7).* Vienna: IAEA. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1960_web.pdf

5. INTOSAI. (2019). *ISSAI 100 Fundamental Principles of Public Sector Auditing*. URL: https://www.issai.org/wp-content/uploads/2019/08/ISSAI-100-Fundamental-Principles-of-Public-Sector-Auditing-1.pdf

УДК 351.823.1:[639.2/.3+639.1.092]:349.6(477:4-6ЄС)

РОЛЬ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ У ФОРМУВАННІ СИСТЕМИ РАННЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА НОРМУВАННІ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

***Крайнюков О. М.**, д-р геогр. наук, професор*, ***Щокіна М. М.**, аспірантка*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
м. Харків, Україна

Сучасне антропогенне забруднення довкілля є комплексним і його неможливо оцінити лише хімічними методами, оскільки хімічні показники не завжди враховують синергізм та антагонізм дії різних речовин. Задля запобігання екологічній шкоді необхідно впроваджувати перехід від реактивного контролю, тобто пошук забруднення та його причин, до проактивної системи раннього попередження. Для екотоксикологічної оцінки, як основи для раннього попередження, використовується метод біотестування. Зокрема біотестування, є незамінним інструментом для інтегральної оцінки ризиків, що дозволяє формувати науково обґрунтовані, верифіковані стандарти екологічного нормування [1].

На відміну від хімічного аналізу, що вимірює концентрацію окремої речовини, біотестування оцінює ефект сумарного впливу токсикантів на живий організм (тест-об'єкт). Наприклад, якщо у стічних водах не зафіксовані перевищення ГДК за жодним із контрольованих показників, але біотест показав гостру токсичність, це є надійним сигналом про наявність невідомого або неврахованого токсиканта. Саме біотестування допомагає визначити “безпечний рівень” впливу, за якого екосистема не зазнає хронічної шкоди. Це особливо важливо для водних об'єктів рибогосподарського призначення [2].

Біотестування є прямим методом для встановлення Н-властивостей (небезпечних властивостей) відходів, які можуть викликати токсичні ефекти. На основі результатів приймається рішення про віднесення відходів до певного класу небезпеки (I-IV), що безпосередньо впливає на правила їхнього поводження та утилізації. Екотоксикологічний моніторинг є основою для адаптивного управління природними ресурсами, де нормативи та управлінські рішення постійно коригуються на основі змін екологічного стану та виявлених токсичних ефектів [3].

Проблеми узгодження та валідації національних методик із міжнародними стандартами (OECD, Директиви ЄС) є критичними для забезпечення рибної продукції конкурентними можливостями міжнародного рівня [4] та екологічної безпеки деокупованих територій. Водночас висока вартість аналітичного обладнання залишається головним бар'єром для впровадження таких систем моніторингу на постійній основі. Впровадження біосенсорних систем та систем онлайн-біомоніторингу на великих промислових об'єктах для повної автоматизації раннього попередження мають перспективні та позитивні наслідки в розвитку екологічних послуг та прийняття управлінських рішень [5].

Екотоксикологічна оцінка трансформує систему екологічного менеджменту, перетворюючи його з системи покарання на систему запобігання. Вона є необхідною передумовою для досягнення цілей сталого розвитку та забезпечення екологічної безпеки України.

Література

1. Крайнюкова А.М., Крайнюков О.М., Кривицька І. А. Використання методик біотестування для оцінювання екологічного стану поверхневих вод. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія». 2021. Вип. 24. С. 103–116. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09.

2. Крайнюков О.М., Щокіна М.М. Запровадження системи раннього попередження для оперативного виявлення забруднення водних об’єктів. Екологічні науки : науково-практичний журнал. Київ. 2025. Вип. 62. С. 41-44. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.1.7

3. Крайнюков О.М, Проненко М. О. Впровадження системи біотестів для екотоксикологічної оцінки небезпечних властивостей відходів. Екологічні науки : науково-практичний журнал. Видавничий дім «Гельветика», 2025. – № 4 (61). С.63-67. http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/61/12.pdf

4. Директива 2000/60/ЄС (від 23.10.2000) Європейського Парламенту та Ради, що встановлює рамки Співтовариства для дій у сфері водної політики (Водна Рамкова Директива). Офіційний вісник Європейського Союзу. 2000. L 327/1. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962.

5. Тютюнник Г. О. Розвиток інституціонного забезпечення марикультури в Україні: імплементація міжнародного досвіду. Economic Innovations. 2022. Vol. 24, Issue 2 (83). С. 158—184. https://doi.org/10.31520/ei.2022.24.2(83).158-184

УДК 504.5/.6

ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

***Чугай А.В.**, д.т.н., проф., **Кошелєв В.Д.**, асп.*
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Одеса, Україна

Територія Північно-Західного Причорномор'я (ПЗП), яка включає Одеську, Миколаївську і Херсонську області, з початком повномасштабних військових дій стала зоною активних бойових дій. Особливо це стосується Херсонської області. При цьому можна припустити збільшення рівня техногенного впливу на довкілля. Варто зазначити, що даний регіон і раніше характеризувався високими показниками техногенного впливу.

Метою даної роботи є комплексна оцінка техногенного впливу на довкілля регіонів (ПЗП). В якості оціночного параметра застосований комплексний показник техногенного впливу на навколишнє середовище певної території, який визначається за формулою:

$$K_к = \left(\frac{M_B}{S_m} + \frac{V_З\text{-}V_C}{S_m} + \frac{M_{ВІД}}{S_m}\right) \cdot P_Ж,$$

де M_B – маса викиду ЗР, т/рік; S_m – площа території області, га; $V_З$ – маса води, яка забирається на потреби споживачів, м^3/рік; V_C – маса скидання стічних вод, м^3/рік; $M_{ВІД}$ – маса відходів, що утворилися на даній території, т; $P_Ж$ – кількість жителів, які проживають на даній території, тис. чол.

Даний показник враховує переважно вплив виробничої діяльності в регіонах. Він змінюється у широкому діапазоні і дозволяє поділяти території дослідження на декілька екологічних районів за рівнем навантаження за такими градаціями: 1) $K_к < 10 \cdot 10^{-2}$; 2) $K_к = (10 – 100) \cdot 10^{-2}$; 3) $K_к = (100 – 1000) \cdot 10^{-2}$; 4) $K_к > 1000 \cdot 10^{-2}$.

Нами було виконано комплексну оцінку техногенного впливу за даними Регіональних доповідей та Екологічних паспортів регіонів за 2023 р. Було проаналізовано динаміку показників впливу, які враховуються при розрахунках (рис. 1).

Як видно, динаміка зміни окремих показників впливу по регіонах різниться. Якщо за обсягами викидів забруднюючих речовин і показниками водокористування найбільші значення відзначались для Одеської області, то за показниками утворення відходів «лідером» виявилася Херсонська область. І, на нашу думку, обсяги утворених відходів в даному випадку враховують відходи руйнування внаслідок військових дій.

На рис. 2 наведено результати розрахунку комплексного показника $K_к$ для регіонів ПЗП. Аналіз показує, що максимальні показники впливу відзначаються для Одеської області, які на порядок фактично перевищують аналогічні для Миколаївської і Херсонської областей. Отримані мінімальні значення для Херсонської області свідчать про фактичну відсутність виробничої діяльності в регіоні внаслідок постійних бойових дій.

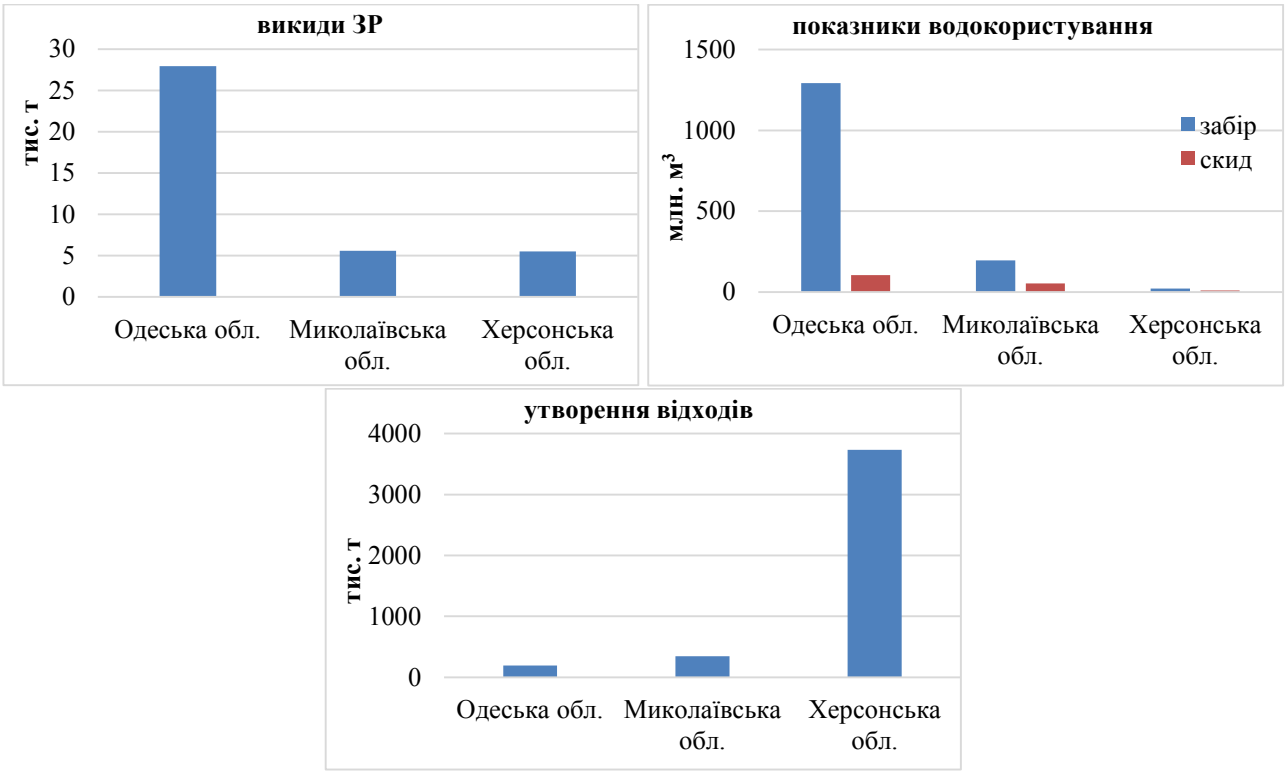


Рис. 1. Основні показники техногенного впливу на довкілля в регіонах ПЗП у 2023 р.

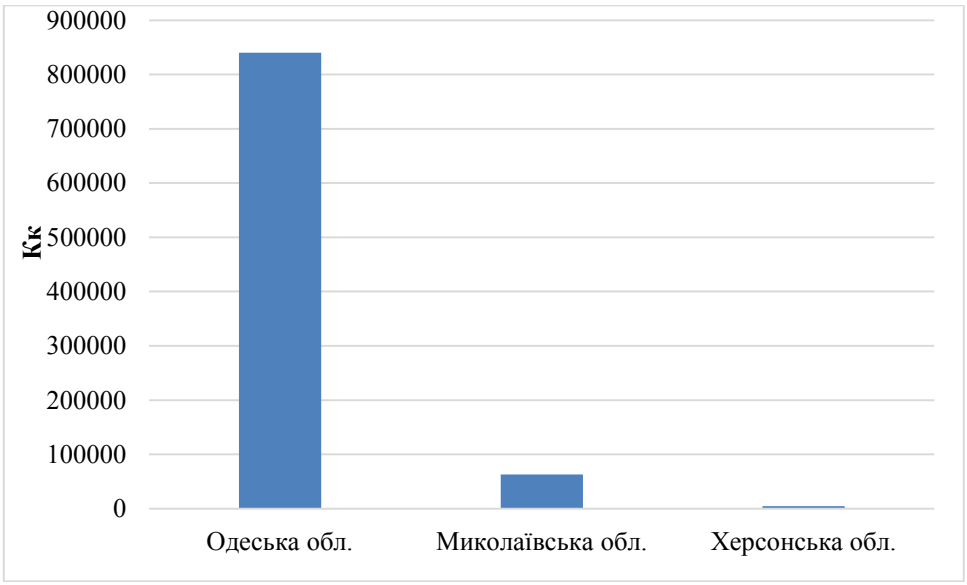


Рис. 2. Результати оцінки техногенного впливу на довкілля в регіонах ПЗП у 2023 р.

Згідно із запропонованими градаціями всі області належать до 4-ї групи – екологічного району з дуже високим рівнем техногенного навантаження. Основним фактором, що сформував високий рівень впливу, є показники водокористування в регіонах ПЗП.

УДК: 504.5:631.4:546.3

ОЦІНКА ЛОКАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНОЗЕМІВ м. ХАРКОВА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ В УМОВАХ МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ

***Кривицька І.А.**, канд.біол.наук, **Лаптєв Д.С.**, студент*
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна м. Харків, Україна

В умовах воєнних дій урбанізовані території зазнають значного техногенного навантаження, що має специфічний і локалізований характер [3]. Місто Харків, яке систематично піддається обстрілам із застосуванням безпілотних літальних апаратів і ракетного озброєння, характеризується суттєвими екологічними порушеннями. У цих умовах ґрунтовий покрив виконує роль природного акумулятора, накопичуючи продукти вибухів, залишки ракетного палива та дрібнодисперсні частинки зруйнованих будівельних матеріалів [3].

Дослідження змін мікроелементного складу ґрунтів є важливим для оцінки екологічного стану міських територій і потенційних ризиків для населення. Особливу увагу приділено рухомим і потенційно рухомим формам важких металів, оскільки саме вони визначають здатність забруднювачів мігрувати в суміжні середовища, зокрема рослинність і підземні води [3].

Використання регіонального геохімічного фону як базового рівня порівняння дозволяє об’єктивно оцінити ступінь антропогенного впливу та виокремити внесок мілітарного чинника у формування хімічного складу ґрунтів [1].

Об’єктом дослідження виступили ґрунти м. Харків, відібрані протягом 2024–2025 рр. на локаціях з зафіксованим мілітарним впливом: Точка №1 (пр. Любові Малої, 24) - пошкодження критичної інфраструктури; Точка №2 (парк Маяковського) - падіння уламків засобів повітряного нападу; Точка №3 (вул. Бучми, Кітлярчин Яр) - місце безпосереднього влучання ракети; Точка №4 (майдан Героїв Небесної Сотні) - зона ураження адміністративних об'єктів. Зразки ґрунту відбиралися з верхнього шару (0–5 см) на пробних ділянках розміром 1×1 м лопаткою за методом «конверта», що передбачав змішування точкових проб з п’яти точок кожної локації [2].

Аналіз проводився для рухомих форм (витяжка ацетатно-амонійним буфером з pH 4,8) та потенційно рухомих форм (витяжка 1 н HCl) [1], [2]. Вміст елементів визначався методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Оцінка ступеня забруднення здійснювалася шляхом розрахунку коефіцієнта концентрації (K_C) за формулою:

$$K_C = \frac{C_i}{C_b}$$

Розрахунок проводився відносно фонових значень за Фатєєвим А. І. [2].

Частку рухомих форм елементів (мобільність) визначали як відсоткове співвідношення вмісту, екстрагованого ацетатно-амонійним буфером, до вмісту, визначеного у витяжці 1 н HCl, за формулою:

$$M = \frac{C_{AAB}}{C_{HCl}} \cdot 100\%$$

Проведені вимірювання свідчать про формування локальних геохімічних аномалій, що чітко корелюють із зонами вогневого ураження (табл. 1).

Таблиця 1.

Оцінка забруднення ґрунтів важкими металами (з урахуванням коефіцієнтів концентрації та мобільності)

Елемент	Точка	ААБ (мг/кг)	Кс (ААБ)	HCl (мг/кг)	Кс (HCl)	Мобільність, %
Cd	Т1	0,17	3,4	0,32	3,2	53,1
	Т2	0,18	3,6	0,37	3,7	48,6
	Т3	1,06	21,2	1,83	18,3	57,9
	Т4	0,08	1,6	0,26	2,6	30,8
Co	Т1	0,22	2,2	1,74	3,5	12,6
	Т2	0,60	6,0	3,07	6,1	19,5
	Т3	0,40	4,0	2,03	4,1	19,7
	Т4	0,53	5,3	6,4	6,4	16,6
Cr	Т1	1,34	13,4	5,02	5,0	26,7
	Т2	1,21	12,1	4,92	4,9	24,6
	Т3	1,59	15,9	71,66	71,7	2,2
	Т4	0,76	7,6	4,85	4,9	15,7

Отримані результати свідчать про чітко виражену просторову неоднорідність забруднення ґрунтів у межах досліджених ділянок. Рівні накопичення важких металів суттєво варіюють залежно від інтенсивності мілітарного впливу, що дозволяє виділити як локальні аномалії, так і зони розсіяного забруднення.

Найбільш напружена екологічна ситуація сформувалася у точці Т3 (Кітлярчин Яр), яка відповідає місцю безпосереднього влучання. Тут зафіксовано максимальні значення коефіцієнтів концентрації для всіх досліджених елементів, особливо кадмію (Кс до 21,2) та хрому (Кс до 71,7). Такий рівень перевищення фонового вмісту свідчить про інтенсивне надходження токсичних компонентів, пов’язаних із детонацією боєприпасів та руйнуванням техногенних матеріалів.

Особливу увагу привертає кадмій, який характеризується не лише високими концентраціями, але й значною часткою рухомих форм (до 57,9%). Це означає, що більша частина цього елемента перебуває у доступному для міграції стані, що створює реальну загрозу його переходу в рослинність і подальшого включення у трофічні ланцюги. Таким чином, кадмій у досліджених умовах виступає як один із найбільш екологічно небезпечних елементів.

На відміну від кадмію, хром демонструє інший тип поведінки. Незважаючи на надзвичайно високий валовий вміст у точці Т3, його мобільність залишається дуже низькою (близько 2%). Це вказує на те, що основна частина хрому знаходиться у зв’язаному, малорухомому стані. Водночас такі концентрації формують значний «резерв» забруднення, який може активізуватися за зміни фізико-хімічних умов ґрунту (зокрема, кислотності або окисно-відновного потенціалу).

Кобальт у всіх досліджених точках демонструє відносно рівномірне підвищення концентрацій (Кс до 6,4), що відрізняє його від кадмію та хрому. Такий розподіл свідчить не стільки про точкові джерела, скільки про розсіяне надходження, ймовірно пов’язане з пиловими аерозолями, продуктами згоряння та руйнуванням будівельних матеріалів. При цьому його мобільність залишається на середньому рівні (близько 15–20%), що вказує на помірну екологічну активність.

Для точок Т1 і Т2 характерний помірний рівень забруднення з коефіцієнтами концентрації переважно в межах 3–13. Це дозволяє інтерпретувати їх як зони вторинного впливу, де накопичення важких металів відбувається за рахунок переносу уламкового матеріалу, пилу та продуктів вибуху. У точці Т4 спостерігається змішаний характер забруднення, що поєднує ознаки як локального, так і фоново-техногенного впливу.

У цілому результати дослідження дозволяють виділити дві основні форми існування важких металів у ґрунтах:

1. мобільну (екологічно активну) - представлена передусім кадмієм, який становить найбільшу загрозу для біоти;
2. потенційно мобільну (резервну) - характерну для хрому та частково кобальту, що формують довготривале джерело забруднення.

Таким чином, мілітарний вплив призводить не лише до зростання концентрацій важких металів, але й до зміни їхніх форм перебування у ґрунті, що визначає рівень екологічного ризику та тривалість негативних наслідків для урбанізованих екосистем [3]. Отримані результати підтверджують необхідність пріоритетного моніторингу зон прямого ураження, а також розробки заходів локальної ремедіації ґрунтів із високим вмістом біодоступних форм токсичних елементів.

Література

1. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пащенко ; ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків : Друкарня №13, 2003. 117 с.
2. Фатєєв А. І. Еколого-генетичний статус мікроелементів у ґрунтах України : монографія. Харків : Міськдрук, 2011. 512 с.
3. Екологічні наслідки війни в Україні: аналіз та оцінка / за ред. О. В. Бондаря. Київ : ДЕА, 2023. 145 с.

УДК 502.15:[341.123:502.51]:639.2/.3(477)

САНІТАРНО-МІКРОБІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ р. СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЗАГАЛЬНОГО МІКРОБНОГО ЧИСЛА ТА КОЛІФОРМНИХ БАКТЕРІЙ

***Крайнюков О. М.**, д-р геогр. наук, професор**, Скляров А.В.**, бакалавр*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна

Санітарно-мікробіологічна оцінка якості води є невід'ємною складовою системи екологічного моніторингу та забезпечення безпеки водокористування. На відміну від фізико-хімічних показників, які відображають переважно концентрацію окремих речовин, мікробіологічні параметри дозволяють оцінити інтегральний стан водного середовища та його потенційну небезпеку для живих організмів і людини.

Особливе значення має визначення загального мікробного числа, яке характеризує рівень біологічної активності у воді та ступінь її органічного забруднення. Підвищення цього показника часто свідчить про надходження у водний об'єкт органічних речовин, що стимулюють розвиток мікроорганізмів і можуть призводити до порушення природної рівноваги екосистеми.

Важливим аспектом санітарно-мікробіологічної оцінки є також виявлення бактерій групи кишкових паличок, які виступають надійними індикаторами фекального забруднення. Їх наявність у воді сигналізує про можливе потрапляння патогенних мікроорганізмів, що створює ризики для здоров'я населення, особливо при використанні води для питних або рекреаційних потреб.

Санітарно-мікробіологічні показники мають особливу цінність у контексті оцінки впливу антропогенних факторів. Урбанізація, розвиток промисловості, сільське господарство та рекреаційна діяльність призводять до збільшення навантаження на водні об'єкти, що відображається у зміні мікробного складу води. Саме тому мікробіологічний контроль дозволяє своєчасно виявляти негативні тенденції та запобігати подальшому погіршенню якості води.

Крім того, результати санітарно-мікробіологічних досліджень широко використовуються для обґрунтування природоохоронних заходів, оптимізації систем очищення води та розробки стратегій управління водними ресурсами. Вони є важливою складовою оцінки екологічних ризиків і дозволяють прогнозувати можливі наслідки забруднення для екосистем і здоров'я населення.

Таким чином, санітарно-мікробіологічна оцінка якості води виконує не лише діагностичну, але й прогностичну функцію, забезпечуючи наукову основу для прийняття управлінських рішень у сфері охорони довкілля та раціонального використання водних ресурсів.

Якість водних ресурсів є одним із ключових факторів екологічної безпеки та здоров'я населення. Особливу роль у системі моніторингу відіграють мікробіологічні показники, які дозволяють оцінити ступінь антропогенного навантаження та санітарний стан водних об'єктів.

Загальне мікробне число (ЗМЧ) є інтегральним показником мікробіологічного стану води, що відображає сумарну кількість життєздатних мікроорганізмів. Водночас бактерії групи кишкових паличок (БГКП) розглядаються як санітарно-показові мікроорганізми, що свідчать про фекальне забруднення води.

Річка Сіверський Донець є важливим водним об’єктом регіонального значення, який зазнає суттєвого антропогенного впливу, зокрема внаслідок рекреаційного навантаження та надходження побутових і господарських стоків.

Метою дослідження було оцінювання санітарно-мікробіологічного стану води р. Сіверський Донець за показником загального мікробного числа.

Об’єктом дослідження були проби води, відібрані у трьох створах р. Сіверський Донець:

1. Короповський міст;
2. озеро Дичеве;
3. смт Донець (байдарочна станція).

Визначення загального мікробного числа проводили методом глибинного посіву з інкубацією при 36 °С протягом 24 годин. Облік здійснювали шляхом підрахунку колоній у чашках Петрі з подальшим розрахунком середнього значення.

Отримані результати визначення загального мікробного числа свідчать про варіабельність мікробного забруднення у різних створах річки.

Значення ЗМЧ коливалися в межах від $7{,}8\times10^{4}$ до $3{,}1\times10^{5}$ КУО/дм³**,** що відповідає помірному та підвищеному рівню мікробного забруднення.

Найнижчі показники зафіксовано у пробі, відібраній у районі Короповського мосту, що може бути пов’язано з більш інтенсивними процесами самоочищення води за рахунок течії.

Найвищі значення спостерігалися у пробах, відібраних в озері Дичеве та в районі байдарочної станції. Це може бути обумовлено:

- зниженою швидкістю течії;
- накопиченням органічних речовин;
- впливом рекреаційного навантаження;
- можливим надходженням побутових стоків.

Підвищення загального мікробного числа свідчить про активізацію процесів мікробіологічної деструкції органічних речовин та зниження якості водного середовища.

Наявність бактерій групи кишкових паличок підтверджує можливе фекальне забруднення, що є важливим індикатором санітарної небезпеки води.

Отримані результати узгоджуються з уявленнями про просторову неоднорідність якості води у річкових системах.

Ділянки зі зниженою течією або інтенсивним антропогенним впливом характеризуються підвищеним рівнем мікробного забруднення. Особливо це

стосується заплавних водойм і зон рекреації, де створюються сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів.

Зростання чисельності мікроорганізмів може бути пов’язане з: надходженням органічних забруднювачів; евтрофуванням; зниженням ефективності природних процесів самоочищення.

В результаті проведеного дослідження встановлено:

1. Загальне мікробне число у воді р. Сіверський Донець знаходиться в межах $10^4 – 10^5$ КУО/дм³, що відповідає помірному та підвищеному рівню мікробного забруднення.
2. Найвищі показники ЗМЧ зафіксовано у створах із підвищеним антропогенним навантаженням та зниженою течією.
3. Виявлення бактерій групи кишкових паличок свідчить про наявність фекального забруднення води.
4. Отримані результати вказують на необхідність посилення санітарного контролю та проведення заходів щодо зниження антропогенного впливу на водний об’єкт.

Загальне мікробне число (ЗМЧ) є одним із базових санітарно-мікробіологічних показників, що широко використовується для оцінки якості води. Воно характеризує загальну кількість життєздатних мікроорганізмів, здатних утворювати колонії на поживних середовищах за визначених умов культивування.

ЗМЧ відображає інтегральний рівень мікробного забруднення та є непрямим показником наявності органічних речовин у водному середовищі. Зростання цього показника, як правило, пов’язане з надходженням органічних сполук, що створюють сприятливі умови для розвитку мікрофлори.

Визначення загального мікробного числа здійснюється шляхом культивування мікроорганізмів на поживних середовищах з подальшим підрахунком колонієутворюючих одиниць (КУО). Метод глибинного посіву, що використовується у дослідженні, дозволяє враховувати як поверхневі, так і глибинні колонії, що підвищує точність оцінки.

Слід зазначити, що ЗМЧ не дозволяє ідентифікувати конкретні види мікроорганізмів, однак є важливим показником загального санітарного стану води. Його значення залежить від ряду факторів, серед яких: температура води;

- наявність органічних речовин; швидкість течії; ступінь антропогенного навантаження; сезонні коливання.

У природних водних об’єктах підвищення ЗМЧ може бути пов’язане як із природними процесами (розкладання органічних решток, біологічна активність), так і з антропогенним впливом (скиди стічних вод, рекреаційне використання територій, сільськогосподарські стоки).

УДК 502.15:[341.123:502.51]:639.2/.3(477)

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВОДИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

***Кривицька І.А.**, к.б.н., доцент, **Крайнюков О. М.**, д-р геогр. наук, професор,*
***Трущенко О.С.**, бакалавр*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
м. Харків, Україна

Якість води є основоположною для управління навколишнім середовищем та забезпечення сталого розвитку, оскільки вона безпосередньо впливає як на здоров'я людини, так і на стан екосистем. Відповідно до цілей сталого розвитку ООН до 2030 року, доступ до чистої води визначається як базова потреба та один із ключових факторів вирішення глобальних проблем. Особлива увага приділяється необхідності міжнародної співпраці для зменшення забруднення води, підвищення її якості, удосконалення систем очищення стічних вод та скорочення втрат водних ресурсів [1].

Попри значні зусилля міжнародних організацій і національних регуляторів, проблема якості води залишається актуальною у глобальному масштабі. У країнах Європейського Союзу лише близько 40% поверхневих водойм досягають доброго екологічного стану [2]. Подібна ситуація спостерігається і в США, де дані оцінки стану озер демонструють зростання рівня забруднення поживними речовинами, такими як азот і фосфор, а також погіршення біологічного стану водних екосистем. Це свідчить про посилення екологічних ризиків і необхідність пошуку більш ефективних підходів до управління водними ресурсами.

Озера та водосховища відіграють ключову роль як основні джерела прісної води для побутових, промислових, сільськогосподарських та екологічних потреб. Однак на їхній стан негативно впливають численні чинники, серед яких старіння інфраструктури, зміни у землекористуванні, кліматичні коливання, посилення сезонності та зростання попиту на воду. Ці фактори ускладнюють забезпечення стабільної якості води та підвищують навантаження на водні системи [3].

Серед найпоширеніших проблем якості води у водосховищах виділяють накопичення осаду, підвищення каламутності, евтрофікацію та часті цвітіння водоростей. Такі явища не лише погіршують якість води, але й знижують ефективність функціонування водосховищ та призводять до деградації екосистем. У результаті це створює додаткові виклики для управління водними ресурсами та забезпечення їхньої довгострокової стійкості.

Управління якістю води є складним процесом через динамічний і нелінійний характер прісноводних систем. Взаємодія біологічних, хімічних і фізичних факторів є неоднорідною та важко передбачуваною, що ускладнює оцінку стану води та прийняття ефективних управлінських рішень. Додаткові труднощі створюють обмеженість даних, нерівномірність їх просторового та часового

охоплення, а також висока мінливість природних умов. Усе це призводить до зростання невизначеності та складності у прийнятті рішень [4].

У таких умовах особливого значення набуває постійний і надійний моніторинг якості води. Він дозволяє своєчасно виявляти негативні зміни, оцінювати ризики та забезпечувати відповідність встановленим стандартам. Проте традиційні методи моніторингу не завжди здатні ефективно обробляти великі обсяги різнорідних даних, що зумовлює необхідність впровадження новітніх технологій.

Сучасні досягнення у сфері штучного інтелекту відкривають нові можливості для аналізу та управління якістю води. Штучний інтелект здатний обробляти дані з різних джерел, включаючи польові вимірювання, дистанційне зондування, системи Інтернету речей та історичні архіви. Завдяки цьому стає можливим виявлення складних закономірностей, побудова прогнозних моделей та оптимізація процесів управління водними ресурсами.

Серед методів штучного інтелекту особливе місце займають алгоритми машинного навчання, такі як кластеризація, метод опорних векторів і нейронні мережі. Вони широко застосовуються для оцінки якості води, класифікації її стану та прогнозування змін у водних системах. Однак використання таких методів потребує врахування їхньої складності та обмежень, особливо у контексті прийняття відповідальних рішень [5].

Управління якістю води є сферою з високим рівнем відповідальності, оскільки прийняті рішення безпосередньо впливають на довкілля та здоров’я населення. У зв’язку з цим зростає значення підходів, які поєднують автоматизований аналіз із людським контролем. Такий підхід забезпечує більшу прозорість, надійність і довіру до результатів, отриманих за допомогою штучного інтелекту [6].

Особливу увагу приділяють інтерпретованим моделям штучного інтелекту, які дозволяють зрозуміти логіку прийняття рішень. Це важливо для підвищення прозорості, відтворюваності та обґрунтованості управлінських рішень у сфері довкілля. Одним із таких підходів є самоорганізовні карти Кохонена, які забезпечують ефективну візуалізацію складних даних та збереження їхніх структурних зв’язків.

Самоорганізовні карти є моделлю типу «білої скриньки», що робить їх зрозумілими та зручними для аналізу експертами. Вони дозволяють виявляти приховані закономірності у даних, що є особливо цінним для аналізу екологічних систем. Завдяки цьому такі моделі можуть використовуватися як ефективний інструмент підтримки прийняття рішень у сфері управління водними ресурсами.

Попри значну кількість досліджень, присвячених застосуванню штучного інтелекту у сфері якості води, багато з них мають описовий характер і не забезпечують глибокого методологічного аналізу. Вони часто охоплюють різні

типи водних систем і алгоритмів без чіткої спеціалізації, що ускладнює формування цілісного підходу до вирішення проблеми.

У зв'язку з цим особливу цінність становлять дослідження, які системно аналізують застосування конкретних методів, зокрема самоорганізовних карт, для оцінки якості поверхневих вод у озерах і водосховищах. Такий підхід дозволяє поєднати можливості штучного інтелекту з принципами орієнтованого на людину управління та створити більш ефективні інструменти для вирішення екологічних проблем [7].

Загалом можна зробити висновок, що проблема якості води має глобальний характер і продовжує загострюватися під впливом природних та антропогенних факторів. Традиційні підходи до управління вже не забезпечують необхідної ефективності, тому впровадження сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту, стає необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку. Використання інтерпретованих моделей, таких як самоорганізовні карти, відкриває нові перспективи для аналізу складних екологічних систем і підвищення якості управлінських рішень.

Література

1. USEPA (US Environmental Protection Agency). (2016). National Lakes Assessment 2012: a collaborative survey of lakes in the United States.

2. Wu W., Eamen L., Dandy G., Razavi S., Kuczera G., Maier H.R. (2023) Beyond engineering: A review of reservoir management through the lens of wickedness, competing objectives and uncertainty. *Environ. Model. Softw.*, 167, Article 105777, 10.1016/j.envsoft.2023.105777

3. Winton R.S. , Calamita E., Wehrli B. (2019). Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification *Biogeosciences*, 16 (8), pp. 1657-1671.

4. Miranda L.E., Faucheux N.M. (2022). Climate change alters aging patterns of reservoir aquatic habitats. Clim. Change, 174 (1), p. 9.

5. Pérez-Beltrán C., Robles A., Rodríguez N.A., Ortega-Gavilán F., Jiménez-Carvelo A. (2024). Artificial intelligence and water quality: From drinking water to wastewater. *TRAC Trends Anal. Chem.*, 172, Article 117597.

6. Costa E.L., Braga T., Dias L.A., de Albuquerque É.L., Fernandes M.A. (2024). Self-organizing maps applied to the analysis and identification of characteristics related to air quality monitoring stations and its pollutants. *Neural Comput. Appl.*, 36 (19), pp. 11643-11657.

7. Frincu M.E. (2025). Artificial intelligence in water quality monitoring: A review of water quality assessment applications. *Water Qual. Res. J.*, 60 (1) , pp. 1-15, 10.2166/wqrj.2025.001.

UTC 551.48+ 556.5 + 504.06

IMPACT OF URBOSYSTEMS ON THE QUALITY OF RIVER WATERS WITHIN THE BORDERS OF KHARKIV

***Nekos A.N.**, professor is performing as DrSc, prof. of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management, Karazin Institute of Environmental Sciences, Green Energy and Sustainable, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*
***Bezsonnyi V.L.**, professor is performing as DrSc., prof. of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management, Karazin Institute of Environmental Sciences, Green Energy and Sustainable, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*
***Cherkashyna N.I**., senior lecturer, English Language Supervisor, Faculty of Foreign Languages, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*
***Khaduskina K.V.**, student, Karazin Institute of Environmental Sciences, Green Energy and Sustainable, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

From the beginning of the military conflict in Ukraine to the present day, the issue of access to data on monitoring the ecological state of surface waters requires special attention. Due to hostilities, significant difficulties arise in the functioning of monitoring systems. Stationary posts operate intermittently or their work is completely suspended due to the dangerous situation. Because of this, surface water quality analysis is not carried out or is carried out to a limited extent. The current situation significantly complicates the process of determining and assessing the impact of military operations and industry on the water resources of the region. Taking into account the relevance of the outlined problem, the authors chose the tributaries of the Siverskyi Donets River - the Kharkiv River, the Lopan River and the Nemyshlya River, which flow within the city of Kharkiv, as the objects of the study.

Kharkiv is a large industrial city, with industrial facilities spread unevenly across districts. Moreover, the city has a well-developed network of highways. The large urbanized area has an impact on the water quality in the rivers flowing through the city, in particular, due to the proximity of transport routes and their density of loading, as well as the presence of industrial zones. Polluted surface runoff can enter the rivers from highways, shopping malls, car washes, industrial sites of enterprises, etc. [1]. The rivers of Kharkiv flow through different districts of the city with different levels of urbanization. The Nemyshlya River flows through the territory of the Nemyshlyansky and Saltivsky districts, where there are mainly residential high-rise buildings and private houses. The Kharkiv River flows through the territory of the industrialized Kyivsky and Osnovyansky districts, but also have a significant number of private households. The Lopan River flows

through the territory of the Novobavarsky and Kholodnohirsky districts, which are characterized by a combination of industrial and residential areas.

In autumn of 2025, 6 water samples were taken from the Kharkiv, Lopan and Nemyshlya rivers, 2 samples from each river. The locations of river water sampling were selected according to the locations of bridges and hydraulic structures to determine the potential impact of surface runoff from transport routes. Sampling locations are: sample 1 - the Kharkiv River (bridge on Podilsky Lane), sample 2 - Kharkiv River (bridge on Heroiv Kharkova Avenue), sample 3 - Lopan River (Honcharivska Dam), sample 4 - Lopan River (bridge on Moskalivska Street), sample 5 - Nemyshlya River (Konyusheny Bridge), sample 6 - Nemyshlya River (to Klemenivsky Bridge).

The analysis of river water samples was performed according to eight water quality indicators in the educational and research laboratory of analytical environmental research of the Educational and Scientific Institute of Ecology, Green Energy and Sustainable Development, V. N. Karazin Kharkiv National University. The values of water quality indicators were analyzed in accordance with the "Hygienic standards for water quality of water bodies to meet drinking, household and other needs of the population" for the second category of water use, which includes the use of water from water bodies within settlements [2]. The obtained values of nitrate concentrations in water samples from the Kharkiv River are in sample 1 - 15 mg/dm^3, in sample 2 - 14 mg/dm3, in accordance with the maximum permissible concentration of 45.0 mg/dm^3, no exceedances were recorded. Nitrates were also detected in water samples from the Lopan River in sample 3 - 7 mg/dm^3, and in sample 4 - 5 mg/dm^3, which indicates significantly lower indicators than the established maximum permissible concentration. The concentration of nitrates in a water sample from the Nemyshlya River, sample 5 - 9 mg/dm^3 corresponds to the established standards, in sample 6 nitrates were not detected. As for nitrites, in water from the Kharkiv River, their values samples 1 and 2 are 0.002 mg/dm^3, respectively, no exceedances were recorded (the maximum permissible limit for nitrites is 3.3 mg/dm^3). The detected concentrations of nitrites in water from the Lopan River in samples 3 and 4 are 0.002 mg/dm^3, no exceedance of the established standard is found. From the Nemyshlya River, the values of nitrites in water in samples 5 and 6 are 0.004 mg/dm^3, the obtained values do not exceed the established maximum permissible concentration.

Chloride concentrations in water samples from the Kharkiv River are 240 mg/dm^3 in sample 1, 264 mg/dm^3 in sample 2, no exceedances were recorded (maximum permissible concentration - 350.0 mg/dm^3). Chloride concentrations in water from the Lopan River were 264 mg/dm^3 in sample 3, 256 mg/dm^3 in sample 4 (within the standard). Chloride content in water from the Nemyshlya River in sample 5 was 240 mg/dm^3 and in sample 6 was 256 mg/dm^3, which does not exceed the maximum permissible concentration. In water samples from all rivers, concentrations of heavy metals were determined – Zn, Cd, Mn, Cr^{6+}, Cu. All obtained concentrations of heavy metals were within the established standards.

Water sampling near bridges and hydraulic structures made it possible to assess the likely impact of urbanized surface runoff on river waters. According to the results of chemical analysis of surface water samples from the Kharkiv, Lopan and Nemyshlya rivers, it was determined that none of the indicators exceeds the established standards for the second category of water use. Due to the limitations of monitoring in conditions of military operations, the results obtained reflect only a situational picture. However, taking into account the impact of urbanization, the risks associated with surface runoff, as well as the consequences of military operations, there is a need for systematic monitoring [1].

References

1. Direnko G.O. Characteristics of surface runoff from urbanized areas and its impact on the state of water bodies and the ecological situation. Limited Liability Company Scientific Engineering Center "Potential - 4".
URL:https://potential4.com.ua/ua/statti/harakteristika-poverhnevogo-stoku.html?utm_source

2. HYGIENIC STANDARDS for the quality of water in water bodies to meet drinking, household and other needs of the population: Ministry of Health of Ukraine May 02, 2022 No. 721
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#top

УДК 504.3.054

ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ХАРКІВ У 2024 РОЦІ

***Кулик М. І.**, канд. техн. наук, доц.*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

Забруднення атмосферного повітря є однією серед глобальних проблем людства, оскільки впливає на стан здоров'я населення та стан екосистем. Особливо гостро дана проблема актуальна для великих міст. Саме тому оцінка рівня забруднення повітря в містах, таких як Харків, є актуальною.

На стан атмосферного повітря міста Харкова окрім промислових підприємств та транспортних засобів додався вплив від наслідків регулярних ракетних та дронових атак. За даними Головного управління статистики у Харківській області викиди забруднюючих речовин та парникових газів від стаціонарних джерел у 2024 році становили 20652,1 тон, у Харківській міській територіальній громаді – 2430,9 тон. Викиди діоксиду вуглецю по області – 2900,0 тис. тон [1, 2]. Слід зазначити, що дані наведені за 81,4% суб'єктів подання звітності.

Для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря м. Харків у 2024 році використано індекс забруднення атмосфери (ІЗА) та комплексний ІЗА (КІЗА), які є одними з основних показників якості атмосферного повітря [3]. Дослідження проведено за матеріалами Українського-гідрометеорологічного центру. Аналіз проводився за наступними показниками: завислі речовини, діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, оксид азоту, фенол, сажа, аміак, формальдегід [4].

Для кожної забруднюючої речовини розраховано ІЗА за її середньомісячною концентрацією. Найменшим виявився ІЗА для аміаку у лютому місяці й становив 0,093, а найвищим виявився ІЗА для формальдегіду у липні й становив 1,078 й це один раз коли перевищене значення 1,0, що свідчіть про небезпеку. Слід зазначити, що в продовж року не одноразово фіксувалось разове перевищення середньодобових гранично допустимих концентрацій за переважною більшістю полютантів.

Далі розраховано комплексний індекс забруднення атмосфери по м. Харків протягом 2024 року за дев'ятьма забруднюючими речовинами ($КІЗА_9$) та за п'ятьма пріоритетними речовинами ($КІЗА_5$) (рис. 1.)

Аналізуючи комплексний індекс забруднення атмосфери за дев'ятьма забруднюючими речовинами можна сказати, що його значення змінюється від 3,742 у грудні до 5,412 у вересні, а середнє та медіанне значення дорівнюють 4,540 й 4,517 відповідно. Виходячи з отриманих даних $КІЗА_9$, можна класифікувати рівень забруднення атмосфери як «слабо забруднена».

Аналізуючи комплексний індекс забруднення атмосфери за п'ятьма забруднюючими речовинами можна сказати, що його значення змінюється від 2,599 у грудні до 3,952 у липні, а середнє та медіанне значення дорівнюють 3,288 й 3,239 відповідно. Виходячи з отриманих даних $КІЗА_5$, можна класифікувати рівень

забруднення атмосфери як «низький». Слід зазначити, що при розрахунку КІЗА$_5$ такі забруднюючі речовини як діоксид азоту, фенол та формальдегід були пріоритетними протягом усього року, а завислі речовини, сажа, діоксид сірки, оксид вуглецю змінювались.

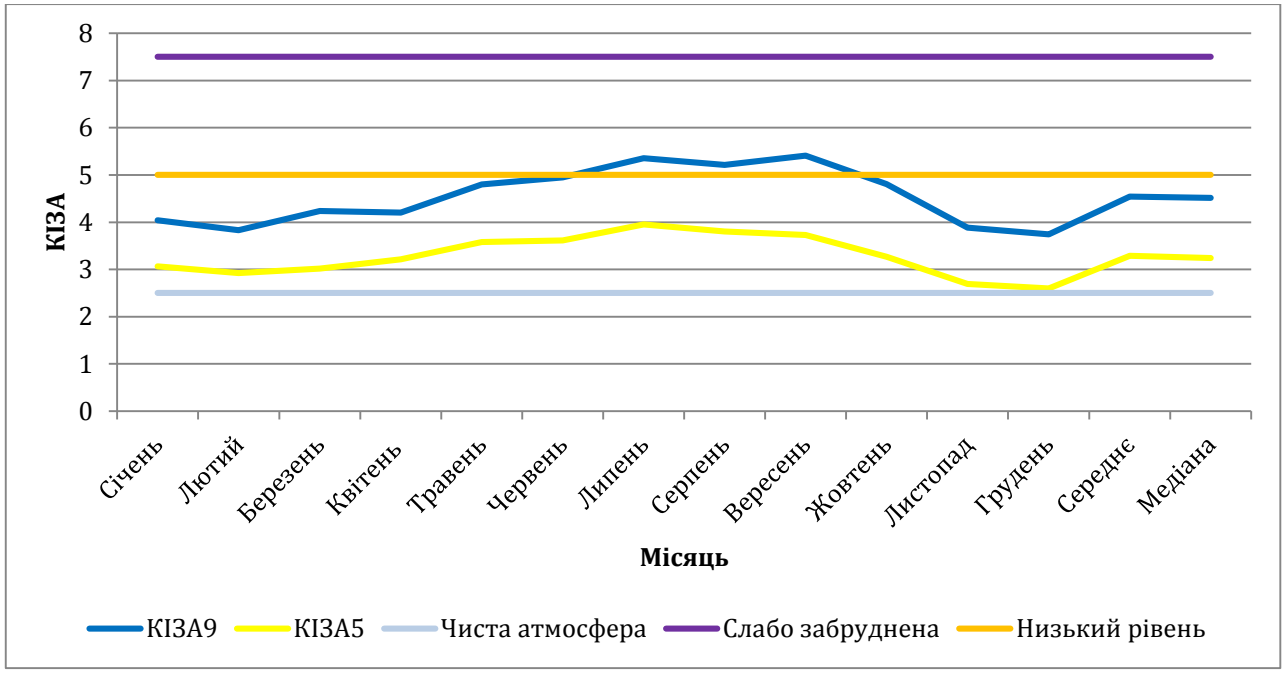


Рис. 1. Динаміка зміни КІЗА по м. Харків у 2024 році

Отже, переважаючими забруднюючими речовинами у атмосферному повітрі міста Харків у 2024 році були формальдегід, фенол й діоксид азоту. Протягом року помітні сезонні коливання КІЗА, так в теплий період (травень-жовтень) КІЗА$_9$ близько 5, а в холодний (січень-квітень, листопад грудень) близько 4. Разом з тим рівень забруднення атмосфери характеризується як «слабо забруднений» протягом усього року. Подібні сезонні коливання характерні й для КІЗА$_5$, за даним показником рівень забруднення атмосфери характеризується як «низький».

Література

1. Головне управління статистики у Харківській області. URL: https://kh.ukrstat.gov.ua/stat-informatsiya

2. Екологічний паспорт Харківської області 2024 рік. Харківська обласна військова адміністрація. URL: https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736

3. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля : підручник. Рівне : НУВГП, 2023. 350 с.

4. Український-гідрометеорологічний центр. URL: https://www.meteo.gov.ua/ua/Shchomisyachni-dani

УДК: 504.064:504.5:581.1

ОЦІНКА ФІТОТОКСИЧНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПИЛУ РІЗНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН МІСТА ХАРКОВА

***Кривицька І.А.**, канд.біол.наук, **Калугін В.М.**, студент*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна м. Харків, Україна

Атмосферне повітря урбанізованих територій зазнає значного антропогенного навантаження, одним із ключових проявів якого є пилове забруднення. Атмосферний пил являє собою складну суміш мінеральних, органічних і техногенних частинок, до складу яких можуть входити важкі метали, продукти згоряння палива, залишки будівельних матеріалів та інші токсичні компоненти. В умовах великого міста формування пилового навантаження зумовлюється інтенсивним транспортним рухом, промисловими викидами, зношенням дорожнього покриття та іншими чинниками урбанізації.

Особливої актуальності проблема набуває для міста Харкова, де поряд із традиційними джерелами забруднення додатковим фактором виступають наслідки руйнування інфраструктури та активні ремонтно-відновлювальні роботи. Такі процеси супроводжуються утворенням значної кількості дрібнодисперсного пилу, що здатний накопичуватися на поверхні рослин та чинити негативний вплив на біоту. У зв’язку з цим актуальним є застосування доступних та інформативних методів оцінки токсичності атмосферного пилу, зокрема біотестування.

Метою дослідження було оцінити фітотоксичний вплив атмосферного пилу різних функціональних зон міста Харкова методом біотестування з використанням Lepidium sativum L.

Відбір проб атмосферного пилу здійснювали у трьох типах функціональних зон міста: ділянках з інтенсивним транспортним навантаженням (проспект Науки), житловій забудові (район Олексіївка) та рекреаційній зоні (Олексіївський лісопарк). Для отримання репрезентативних зразків пил відбирали з поверхні листків дерев і чагарників, розташованих на висоті 1,0–1,5 м від поверхні ґрунту, що дозволяло мінімізувати вплив вторинного забруднення ґрунтовими частинками. Зібраний пил змивали дистильованою водою та готували водні витяжки для подальшого дослідження.

Важливо зазначити, що метод біотестування передбачає проведення контрольованого експерименту з використанням тест-об’єктів і дозволяє отримати кількісну оцінку токсичності досліджуваних середовищ. Рослинні тест-системи є ефективними інструментами фітотоксикологічних досліджень завдяки високій чутливості до забруднювачів. Особливо інформативними є ранні стадії розвитку рослин, коли проростки найбільш вразливі до дії токсичних речовин.

Як тест-об’єкт використовували Lepidium sativum L., що характеризується швидким проростанням, високою чутливістю до широкого спектра токсикантів і забезпечує відтворюваність результатів у короткі терміни. Біотестування проводили

у чашках Петрі, у кожну з яких висівали по 25 насінин. Як контроль використовували дистильовану воду. Облік результатів здійснювали на 5-ту добу за показниками загальної схожості, довжини коренів і довжини паростків.

Результати дослідження показали виражений токсичний вплив атмосферного пилу на ростові процеси рослин. У контрольному варіанті середня довжина кореня становила 37,36 мм, а довжина паростка - 28,68 мм. У зоні інтенсивного транспортного навантаження довжина кореня зменшувалася до 22,64 мм (зниження на 39,4 %), а довжина паростка - до 17,68 мм (38,35 %). У житловій зоні відповідні показники становили 28,84 мм (–22,8 %) та 21,56 мм (–33,0 %). У рекреаційній зоні Олексіївського лісопарку зафіксовано найменше пригнічення росту: довжина кореня - 29,56 мм (–20,9 %), паростка - 22,80 мм (–20,5 %).

Отримані відмінності у ростових показниках пояснюються різним хімічним складом атмосферного пилу в досліджуваних зонах. У районах з інтенсивним транспортним рухом пил містить підвищені концентрації важких металів, продуктів згоряння палива та дрібнодисперсних частинок, що здатні порушувати процеси клітинного поділу, водного обміну та ферментативної активності. У житлових районах склад пилу є змішаним, тоді як у рекреаційних зонах зелені насадження частково затримують пил і знижують його концентрацію в повітрі.

Для комплексної оцінки токсичності було розраховано індекс проростання (GI), який поєднує показники схожості насіння та довжини коренів. Встановлено, що для транспортної зони значення GI становило 46,1 %, що відповідає вираженій токсичності. У житловій зоні цей показник дорівнював 67,9 % (помірна токсичність), а у лісопарковій - 72,8 % (слабка токсичність). Таким чином, встановлено закономірність зростання фітотоксичності атмосферного пилу зі збільшенням антропогенного навантаження.

Статистична обробка результатів із використанням критерію Стьюдента підтвердила достовірність виявлених відмінностей між контрольними та дослідними варіантами, оскільки в усіх випадках фактичні значення перевищували критичний рівень $t_{0,05} = 2,01$.

Різниця в темпах росту рослин зумовлена специфікою складу атмосферного пилу в обраних локаціях. Висока концентрація важких металів та продуктів горіння палива у зонах з інтенсивним трафіком пригнічує метаболізм і ферментативну активність рослин. Натомість лісопаркові зони демонструють кращі показники завдяки захисній функції насаджень, хоча загальне фонове забруднення Харкова все одно негативно впливає на рослинність. Найбільшу чутливість до фітотоксичного впливу виявила довжина кореня, що підтверджує ефективність цього маркера для екологічного моніторингу.

В умовах воєнного відновлення міста Харкова проблема пилового забруднення набуває додаткової актуальності. Руйнування будівель, пошкодження дорожнього покриття, демонтаж конструкцій та проведення ремонтно-відновлювальних робіт супроводжуються інтенсивним утворенням дрібнодисперсного пилу будівельного

походження. Такі частинки можуть містити техногенні компоненти, здатні чинити негативний вплив на рослинний покрив і якість міського середовища. У зв'язку з цим застосування біотестування є доцільним для оперативної оцінки екологічного стану територій у процесі їх відновлення.

Разом з тим слід враховувати, що результати біотестування відображають інтегральний ефект сумарної дії комплексу забруднювачів і не дозволяють ідентифікувати окремі токсичні компоненти. Тому перспективним напрямом є поєднання біотестування з фізико-хімічними методами аналізу, що дозволить більш детально охарактеризувати склад атмосферного пилу та механізми його впливу.

Практичне значення дослідження полягає у підтвердженні ефективності методу біотестування як простого, доступного та інформативного інструменту експрес-оцінки стану атмосферного повітря урбанізованих територій. Запропонований підхід може бути використаний у системі локального екологічного моніторингу, для оцінки ефективності озеленення та визначення пріоритетних напрямів природоохоронних заходів.

Таким чином, встановлено, що атмосферний пил урбанізованого середовища м. Харкова чинить виражений фітотоксичний вплив на рослини, рівень якого зростає зі збільшенням антропогенного навантаження. Найбільш значущий вплив пов'язаний із транспортними джерелами забруднення, що підтверджує необхідність посилення заходів контролю якості атмосферного повітря у міських умовах.

Отримані результати також узгоджуються з даними сучасних досліджень, які вказують на підвищення фітотоксичності міського пилу в умовах інтенсивної урбанізації та техногенного навантаження. Це підтверджує доцільність використання рослинних тест-систем як індикаторів екологічного стану повітряного середовища.

З екологічної точки зору отримані дані свідчать про необхідність посилення ролі зелених насаджень як природних фільтрів атмосферного повітря, особливо в районах з високим транспортним навантаженням.

Крім того, результати дослідження можуть бути використані для екологічного зонування міської території з метою визначення ділянок підвищеного екологічного ризику та пріоритетного впровадження заходів з озеленення.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення спектра тест-організмів із залученням як рослинних, так і мікробіологічних тест-систем, що дозволить підвищити інформативність оцінки токсичності. Доцільним також є проведення довготривалих спостережень із повторними відборами проб у різні сезони року для формування динамічної картини змін фітотоксичного навантаження.

Отримані результати можуть слугувати науковим підґрунтям для розробки локальних екологічних програм, спрямованих на зменшення пилового навантаження та покращення якості міського повітря.

УДК 502.3:504.3.054

ОЦІНКА СЕЗОННИХ ЗМІН ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ФРАНКФУРТ-НА-МАЙНІ (НІМЕЧЧИНА)

[1]Комар С.Р., ***[1]Некос А.В.,*** *д.геогр.н.,*
[1]Кочанов Е.О., *к.військ.н.,* ***[1,2]Безсонний В.Л.*** *д.т.н.*
[1]Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
м. Харків, Україна
[2]Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна

Якість атмосферного повітря є одним із провідних індикаторів екологічного стану урбанізованих територій. Для великих міст характерна виражена просторова й часова мінливість забруднення, що зумовлюється інтенсивністю транспортного руху, щільністю забудови, метеорологічними умовами та фотохімічними процесами в атмосфері. У зв'язку з цим сезонний аналіз змін концентрацій основних забруднювальних речовин є важливим інструментом екологічної оцінки стану міського середовища.

Метою роботи було встановлення сезонних особливостей змін екологічного стану атмосферного повітря міста Франкфурт-на-Майні за даними стаціонарного моніторингу та оцінка просторово-часових відмінностей основних забруднювальних речовин. Для дослідження використано погодинні ряди спостережень за 2018–2025 рр. по станціях Frankfurt Friedberger Landstraße, Frankfurt Ost і Frankfurt Schwanheim. Аналізувалися концентрації оксиду азоту (NO), діоксиду азоту (NO_2), твердих частинок PM10, PM2.5 та приземного озону (O_3). Сезонний поділ здійснювався за метеорологічним принципом: зима – грудень - лютий, весна – березень - травень, літо – червень - серпень, осінь – вересень - листопад.

У результаті дослідження встановлено, що для оксидів азоту характерна чітко виражена сезонна мінливість із максимумом у холодний період року та мінімумом улітку. На транспортно навантаженій станції Frankfurt Friedberger Landstraße середня концентрація NO_2 становила 35,93 мкг/м³ узимку та 28,93 мкг/м³ улітку, тоді як NO – відповідно 26,25 і 9,53 мкг/м³. На станції Frankfurt Ost зимова концентрація NO_2 дорівнювала 29,32 мкг/м³, літня – 17,29 мкг/м³, а NO змінювався від 17,20 мкг/м³ узимку до 3,13 мкг/м³ улітку. На Frankfurt Schwanheim середні значення NO_2 становили 21,42 мкг/м³ узимку та 15,00 мкг/м³ улітку, а NO – 8,86 і 2,29 мкг/м³ відповідно. Отже, найвищі концентрації оксидів азоту в усі сезони формуються на транспортній станції, що свідчить про домінування автотранспортного впливу у структурі локального міського забруднення.

Для твердих частинок сезонна динаміка виявилася менш однозначною. На Frankfurt Friedberger Landstraße середні концентрації PM10 змінювалися від 17,67 мкг/м³ улітку до 20,66 мкг/м³ восени, а PM2.5 – від 9,10 мкг/м³ улітку до 13,00 мкг/м³

узимку. На Frankfurt Ost PM10 становив 17,76 мкг/м³ узимку та 15,56 мкг/м³ улітку. На Frankfurt Schwanheim найвищі значення PM10 спостерігалися влітку – 15,47 мкг/м³, тоді як узимку вони становили 13,27 мкг/м³. Водночас PM2.5 на цій станції мав більш типовий сезонний хід: 10,57 мкг/м³ узимку та 7,31 мкг/м³ улітку. Отже, дрібнодисперсна фракція виявилася більш чутливою до сезонного погіршення умов розсіювання, ніж PM10.

Приземний озон, на відміну від оксидів азоту та PM2.5, характеризувався літнім максимумом. На Frankfurt Ost середня концентрація O_3 зростала від 27,98 мкг/м³ узимку до 65,41 мкг/м³ улітку, а на Frankfurt Schwanheim – від 28,33 до 59,75 мкг/м³. Такий тип сезонної мінливості відповідає фотохімічній природі формування озону та вказує на посилення ризику фотохімічного забруднення в теплий період року.

Порівняльна оцінка станцій показала, що найбільш несприятливим за рівнем забруднення атмосферного повітря є район Frankfurt Friedberger Landstraße. Саме тут зафіксовано найвищі середньорічні концентрації NO_2 – 32,91 мкг/м³, NO – 18,53 мкг/м³, PM10 – 19,45 мкг/м³ і PM2.5 – 11,02 мкг/м³. Frankfurt Schwanheim характеризується найнижчими концентраціями оксидів азоту, тоді як Frankfurt Ost займає проміжне положення та водночас демонструє найвищі середні концентрації озону серед станцій, де цей показник вимірювався.

Узагальнення результатів дозволило виділити два найбільш критичні сезонні періоди для екологічного стану атмосферного повітря. Перший – зимовий, коли зростають концентрації NO, NO_2 та PM2.5 і формуються найбільш несприятливі умови з точки зору хронічного аеротехногенного навантаження на населення. Другий – літній, коли спостерігається максимальне накопичення приземного озону, що підвищує ризик короткочасного фотохімічного впливу.

Отже, сезонний аналіз показників якості атмосферного повітря є ефективним підходом до екологічної оцінки урбанізованих територій. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення системи моніторингу, визначення періодів підвищеного ризику та розроблення сезонно орієнтованих заходів щодо покращення стану атмосферного повітря у великих містах.

УДК 504.064

БІОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ЛИСТЯ ДЕРЕВ ПІД ВПЛИВОМ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ

***Павлюк А. Л.**, ліцеїстка, **Грицуляк Г.М.**, д-р с.-госп. наук,*
Івано-Франківський науковий фізико-технічний ліцей Івано-Франківської обласної ради, Івано-Франківська область, Україна

У сучасних умовах урбанізації особливого значення набуває екологічний моніторинг атмосферного повітря як одного з ключових компонентів міського середовища. Атмосферні опади відіграють важливу роль у процесах перенесення, трансформації та депонування хімічних речовин, що зумовлює їхній вплив на хімічний склад рослин і стан урбанізованих екосистем. Метою дослідження було здійснити біоіндикаційну оцінку якості атмосферного повітря шляхом аналізу змін хімічного складу листя дерев під впливом атмосферних опадів у межах урбанізованої території м. Івано-Франківськ (вул. Карпатська – Набережна). Об’єктом дослідження обрано листя каштану кінського (Aesculus hippocastanum L.), який характеризується високою чутливістю до змін хімічного складу атмосферного середовища та широко використовується як біоіндикатор. Відбір зразків проводився після дощу, що дозволило мінімізувати вплив поверхневого пилового забруднення та оцінити внутрішні зміни елементного складу. Дослідження включало п’ять повторних відборів, а також аналіз контрольних зразків, вирощених у відносно «чистих» умовах. Визначення елементного складу листя здійснювали методом рентгенофлуоресцентного аналізу за допомогою приладу EXPERT-4L, який забезпечує швидке та неруйнівне визначення макро- та мікроелементів. Результати дослідження засвідчили, що у листі дерев, відібраних у міському середовищі після атмосферних опадів, спостерігається підвищення вмісту макроелементів (Mg, K, Ca, P) та мікроелементів (Fe, Mn, Ti) порівняно з контрольними зразками. Це свідчить про надходження зазначених елементів із атмосферними опадами та аерозольними частками. Встановлено також зростання концентрацій важких металів (Ni, Cu, Zn, Pb), що має суттєве екологічне значення. Найбільш показовим є підвищення вмісту свинцю, що вказує на антропогенне забруднення атмосферного повітря, пов’язане з транспортними та іншими техногенними джерелами. Отримані результати підтверджують, що атмосферні опади виконують подвійну функцію: з одного боку, очищують атмосферу від забруднювальних речовин, а з іншого — сприяють їх накопиченню у рослинному покриві. Це впливає на фізіолого-біохімічний стан рослин та екологічну якість міських екосистем. Дослідження доводить ефективність біоіндикаційного підходу для оцінки стану атмосферного повітря. Використання листя дерев як індикатора забруднення може бути інтегроване в системи екологічного моніторингу урбанізованих територій та застосоване для наукового обґрунтування природоохоронних заходів.

УДК: 504.5:628.511

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ТВЕРДИХ ПИЛОВИХ ЧАСТИНОК: АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

***Огілько С.П.**, доктор філософії з «Науки про Землю», Уманський національний університет, Умань, Україна*

Проблема забруднення атмосферного повітря твердими частинками залишається однією з найгостріших екологічних викликів сучасності. Зокрема, фракція часток діаметром менше 2,5 мікрометра (PM2.5) становить критичну загрозу для здоров’я населення та стану екосистем завдяки своїй здатності проникати глибоко в респіраторний тракт людини та потрапляти у системний кровотік. Згідно з міжнародними оцінками, PM2.5 є основним фактором ризику для розвитку хронічних неінфекційних захворювань, що призводить до значної кількості передчасних смертей щороку в усьому світі [1]. В умовах швидкої урбанізації та зростання промислового виробництва актуальність розробки ефективних систем фільтрації зростає. Традиційні методи очищення, такі як волоконне фільтрування або електростатичне осадження, часто виявляються неефективними щодо ультрадисперсних часток або потребують значних енергетичних затрат. Тому дослідження інноваційних технологій на основі наноматеріалів та нових фізико-хімічних процесів є критично важливим для забезпечення екологічної безпеки в рамках цілей сталого розвитку (ЦСР 3 та 11).

Тверді частинки PM2.5 мають складний хімічний і морфологічний склад, що включає сульфати, нітрати, амоній, органічні сполуки (ОС), елементарний вуглець (сажу) та важкі метали (свинець, кадмій, ртуть). Їхня токсичність не є лінійною функцією розміру; вона суттєво залежить від поверхневої активності та хімічної спорідненості до організмів. Частки такого розміру мають надзвичайно високу питому поверхню, що сприяє адсорбції на їхній поверхні канцерогенних речовин, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Дослідження свідчать, що PM2.5 здатні порушувати цілісність гемато-ентефалічного бар'єру, викликаючи нейродегенеративні процеси та запальні реакції в мозку [2]. У контексті довкілля, частинки PM2.5 відіграють роль ядра конденсації для хмар, впливаючи на кліматичний баланс Землі. Тому ефективне очищення повітря вимагає не лише механічного видалення частинок, а й їхньої деструкції або іммобілізації для запобігання вторинному забрудненню ґрунтів та водних об'єктів.

Класичні системи очищення повітря базуються на механізмах дифузії, перехоплення та інерційного осадження. Високоеліментні фільтри (HEPA-High Efficiency Particulate Air) здатні затримувати до 99,97% частинок розміром 0,3 мкм, проте їхня ефективність різко падає для часток менше 100 нм без суттєвого збільшення опору потоку повітря. Це призводить до зростання енергоспоживання вентиляторних систем та необхідності регулярної заміни фільтруючих елементів,

що створює додаткове тверде відходи на полігонах [3]. Електростатичні осаджувачі (ESP) ефективні для великих промислових об'ємів, але вимагають високорівневої електричної мережі та мають проблеми з утворенням озону та оксидів азоту як побічних продуктів розряду. Також існують труднощі з регенерацією осаджених часток на електродах. Таким чином, існує гостра потреба у технологіях, що поєднують високу селективність щодо PM2.5 з низьким енергоспоживанням та екологічною безпекою експлуатації та утилізації відходів.

Інноваційним підходом є поєднання фізичного фільтрування з фотокаталітичним окисленням. Використання діоксиду титану (TiO_2), модифікованого квантовими точками або легуванням перехідними металами, дозволяє розкладати органічну частину PM2.5 під дією ультрафіолетового або навіть видимого світла. У процесі реакції утворюються активні радикали (OH, O_2), які руйнують токсичні органічні сполуки на поверхні фільтра до безпечних продуктів - CO_2 та H_2O. Це вирішує проблему накопичення забруднювачів на фільтрі та потребу частого заміщення, що є критичним для промислових систем.

Експериментальні дані свідчать, що фотокаталітичні покриття на поверхні внутрішніх елементів систем вентиляції можуть знижувати концентрацію органічних PM2.5 на 90% протягом 30 хвилин експлуатації за умови достатнього освітлення. Однак, ефективність таких систем суттєво залежить від вологості повітря та інтенсивності світлового випромінювання, що вимагає подальшої оптимізації фотокаталізаторів для роботи в умовах природного освітлення або штучного джерела енергії [4]. Також розробляються системи з використанням квантових точок на основі сульфідів кадмію, які мають ширшу смугу поглинання світла, що підвищує ефективність у видимому діапазоні спектра.

Низькотемпературна плазма є ще одним інноваційним методом, який дозволяє деструктивно обробляти тверді частинки та супутні газоподібні забруднювачі одночасно. У плазмових реакторах електрони прискорюються електричним полем і зіштовхуються з молекулами повітря, утворюючи активні радикали та іони. Ці частинки можуть заряджати тверді PM2.5, після чого вони легко осаджуються на електродах або видалляються фільтрами. Такий метод дозволяє одночасно знищувати бактерії та віруси, які часто адсорбуються на поверхні частинок PM2.5, що є важливим для медичних закладів [5].

Дослідження показали, що комбіновані системи «плазма + фільтр» мають ефективність вищою за 99% для часток розміром до 0,1 мкм. При цьому, у порівнянні з традиційними електростатичними осаджувачами, плазмові методи дозволяють працювати при нижчих напругах та меншій витраті енергії. Проте існує ризик утворення озоноутворювальних сполук (озону NOx), що вимагає встановлення додаткових каталітичних фільтрів для доочищення повітря від побічних продуктів реакції [6].

Впровадження інноваційних методів потребує ретельного аналізу життєвого циклу. Хоча наноматеріали та фотокаталізатори мають високу собівартість

початкового виробництва, їхня довговічність та можливість регенерації знижують експлуатаційні витрати в середньостроковій перспективі.

Важливим аспектом є утилізація використаних фільтруючих матеріалів. Наноматеріали, які містять токсичні метали (наприклад, TiO2 з домішками), потребують спеціалізованих методів переробки для запобігання вторинному забрудненню ґрунтів та водних об'єктів. Тому розробка замкнених циклів використання матеріалів є обов'язковою умовою впровадження таких технологій у промисловості України, що відповідає принципам циклічної економіки.

Аналіз сучасного стану технологій очищення повітря свідчить про те, що перехід від пасивних фільтрів до активних систем із використанням наноматеріалів та плазмових реакторів є необхідним для забезпечення екологічної безпеки. Інноваційні методи дозволяють не лише механічно видалити PM2.5, а й деструктивно розкласти токсичну органічну складову, знижуючи загальне навантаження на екосистему. Найбільш перспективними є комбіновані системи, що поєднують фізичну адсорбцію та фотокаталітичне окислення. Подальші дослідження мають бути спрямовані на підвищення стабільності наноматеріалів у вологих умовах та зниження вартості їх виробництва для масового впровадження в Україні.

Література

1. World Health Organization. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* [Electronicresource]. Geneva: WHO, 2021. P. 74-75 URL: www.who.int/publications/i/item/9789240034228 (дата звернення: 19.04.2026)

2. Li X., Zhang Y., Wang Z. Health impacts of PM2.5: From cellular mechanisms to epidemiological evidence // *Environmental Science & Technology*. 2022. Vol. 56, No. 4. P. 2100-2115.

3. Jianbang X., Ching-Hsuan H., Austin E. Energy consumption of using HEPA-based portable air cleaner in residences: A monitoring study in Seattle, US // *Energy Build*. 2022. P. 6-7. URL: doi:10.1016/j.enbuild.2021.110773 (дата звернення: 19.04.2026)

4. Dongjie C., Yanling C., Nan Z. Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO2-based photocatalysts: a review // *Journal of Cleaner Production, Volume 268, 2020, URL:*www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620317728 (дата звернення: 19.04.2026)

5. Sun Y. etal. Non-thermal plasma technology for removal of PM2.5 and gaseous pollutants: A review // *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2023. Vol. 43, No. 2. P. 211-230.

6. Samroeng S., Jariya P., Chanchai T. Performance evaluation of a non-thermal plasma-based corona discharge system with high electric field intensity for airborne pathogen removal // *Results in Engineering*. 2025. Vol. 28. P. 6-9 URL: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108072 (дата звернення: 19.04.2026)

УДК 504.4.054:556.53(477)

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ РІЧОК УКРАЇНИ ДО ТРАНСКОРДОННОГО ТА ЛОКАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

***Залізняк Я. І.**, доктор філософії, Уманський національний університет, м. Умань, Україна*

За сучасних умов рівень якості поверхневих вод вважається базовим критерієм стійкості навколишнього середовища та вагомим елементом національної безпеки кожної держави. Як невіддільна частина біосфери, гідрологічні об'єкти відіграють вирішальну роль у збереженні біологічного балансу, стабілізації клімату та забезпеченні життєдіяльності людей. Проте масштабне зростання промислового та господарського потенціалу за останні десятиліття призвело до перевищення порогу природного самовідновлення водойм. У результаті спостерігається глибокий занепад водних біоценозів, що виражається не лише у погіршенні хімічного складу середовища, а й у деформації структури екосистем, зниженні чисельності біорізноманіття тощо [1].

Критична ситуація із забрудненням басейнів малих та середніх річок в Україні викликана комплексним техногенним навантаженням, де ключовим фактором залишаються неефективні та зношені очисні споруди. Основними джерелами скиду небезпечних речовин є промислові центри, енергетична галузь та комунальний сектор. Водночас вагомої шкоди завдає інтенсивне сільськогосподарське виробництво: безконтрольне внесення хімікатів та добрив призводить до їх потрапляння у поверхневі води під час опадів та танення снігу. Це провокує штучне явище «цвітіння водойм» (евтрофікацію) та блокує природну здатність річок до регенерації. Ситуацію ускладнює недотримання природоохоронного законодавства у прибережних зонах, що руйнує природні захисні бар'єри та посилює ерозію ґрунтів.

Такі негативні впливи зумовлюють стрімку зміну фізико-хімічних та біологічних параметрів водного середовища. Фіксується небезпечне накопичення у воді й донних відкладах токсичних сполук, важких металів та залишків азоту й фосфору. Це робить поверхневі води непридатними для пиття без застосування складних технологій очищення, унеможливлює їх використання в рибному господарстві та створює реальні загрози для здоров'я людей через накопичення токсинів у біологічних ланцюгах [2].

Через невеликі витрати води та приуроченість до конкретних ландшафтів, такі водотоки мають низьку інерційність, тому реакція на природні чи антропогенні зміни проявляється в них значно швидше та інтенсивніше, ніж у великих водних об’єктах.

Надзвичайна чутливість малих річок робить їх вразливими до локального забруднення, спричиненого скидами промислових, комунальних або сільськогосподарських підприємств. Окрім прямого впливу на якість води,

суттєвою проблемою є надмірний забір ресурсів для господарських потреб, що критично знижує транспортуючу здатність потоку. Це призводить до інтенсивного замулення річищ, поступового зменшення водності та втрати річкою здатності до самоочищення. Ситуацію ускладнюють також застарілі аграрні технології, які погіршують властивості грунтів на водозборах і сприяють активному вимиванню біогенних елементів.

Деградація малих річок неминуче позначається на екологічному стані середніх річок, що протікають поруч. Оскільки малі притоки є основними джерелами живлення для більших водних артерій, накопичене в них забруднення інтегрується в загальний стік, погіршуючи якість води в середніх річках за принципом накопичувального ефекту. У такий спосіб локальні екологічні катастрофи на рівні струмків перетворюються на системні проблеми великих басейнів, знижуючи їхню стійкість до зовнішніх навантажень. Такі забруднення є основою для моніторингу на основі басейнового підходу – міграції забруднюючих речовин по товщі води річки до свого базису ерозії, де концентрація полютантів є найвищою [3].

Окрему загрозу становить транскордонне забруднення, коли малі річки перетинають адміністративні або державні кордони. У таких випадках локальне джерело забруднення в межах однієї території перетворює річку на транзитера токсичних речовин і надлишкових біогенів для сусідніх регіонів. Це не лише поширює зону екологічного лиха на середні річки нижче за течією, а й ускладнює управління водними ресурсами, оскільки наслідки господарської діяльності в одній зоні стають критичним викликом для екологічної безпеки іншої [3].

Для стабілізації екологічного стану водойм локальних рішень уже недостатньо; потрібен перехід до цілісного управління за басейновим принципом. Основою такої стратегії має стати розгалужена й оновлена державна система моніторингу. Її необхідно будувати на диференційованому підході — від вивчення еталонних (фонових) територій до контролю зон із найбільшим антропогенним тиском. Лише поєднання гідрологічних розрахунків із глибоким хімічним та біологічним аналізом дозволить реально оцінити екологічні ризики та розробити дієві програми відновлення природного стану річок.

Ключовим фактором екологічної небезпеки є відведення у водойми неочищених або частково очищених стоків. Ця ситуація зумовлена критичним зносом гідротехнічної інфраструктури та систем водовідведення, а також гострим дефіцитом інвестицій у їхню реконструкцію та технічне переоснащення. Більшість комунальних підприємств галузі працюють на межі технічних можливостей, а значна частина об’єктів перебуває у незадовільному або навіть аварійному стані [4].

У підсумку, майбутнє всього регіону та його сталий розвиток прямо залежать від нашої здатності зберегти водні ресурси. Впровадження принципів Водної рамкової директиви ЄС [5] та сучасних методів контролю є обов'язковим кроком для порятунку навколишнього середовища. Це вимагає об'єднаних зусиль

науковців, органів влади, підприємств та громадськості. Збереження чистоти поверхневих вод є головною інвестицією в екологічну безпеку країни в умовах глобальної зміни клімату та зростаючого дефіциту якісної прісної води.

Література

1. Ковальчук І. П., Колодій П. В. Антропогенне забруднення водних ресурсів: екологічна безпека та шляхи мінімізації. Львів : Вид-во ЛНУ, 2020. 180 с.

2. Сташук В. Сучасний стан та перспективи розвитку управління водними ресурсами України. *Водне господарство України*. 2012. № 5. С. 5–9.

3. Гай А. Є., Гроза В. А. Малі річки України: екологічні проблеми та перспективи збереження. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія.* 2010. № 2 (43). С. 75–77.

4. Хімко Р. В., Мережко О. І., Бабко Р. В. Малі річки. Дослідження, охорона, відновлення. Київ : Ін-т екології, 2003. 378 с.

5. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЕС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.

УДК 625.7:502.51:631.4

ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ

Черняк Л. М.[1], *доктор техн. наук, в.о. завідувача кафедри екології, хімії та хімічної технології,* ***Кварєлашвілі Д. В.***[1], *студент,*
Відмаченко В. О.[1], *студентка,* ***Томаш Манєцкі***[2], *доктор хім. наук, професор,*
Радослав Чішельскі[2], *к.х.н.,* ***Олександр Штика***[2], *к.х.н.,*
[1]*Національний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ, Україна*
[2]*Лодзинський технологічний університет, м. Лодзь, Польща*

Розвиток транспортної інфраструктури супроводжується зростанням кількості транспортних засобів у світі, що у свою чергу призводить до збільшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище, зокрема на ґрунтовий покрив, який виступає акумулятором забруднюючих речовин [1]. Викиди транспортних засобів містять оксиди азоту, сірки, вуглецю, вуглеводні, тверді частинки та важкі метали, які осідають у придорожніх ґрунтах та спричиняють їх деградацію. Авторами [2] встановлено, що концентрація важких металів у ґрунтах поблизу транспортних магістралей зростає пропорційно інтенсивності руху та може зберігатися тривалий час навіть після зменшення транспортного навантаження. Таким чином, вплив викидів транспортних засобів є одним із ключових факторів погіршення екологічного стану ґрунтів, що підтверджується як українськими, так і зарубіжними науковими дослідженнями [3-4]. Отже, оцінка рівня вплив транспортної інфраструктури на екологічний стан ґрунтів та розробка рекомендацій з відновлення порушених ґрунтів в зоні впливу транспортної інфраструктури є актуальним науково-практичним завданням.

Метою роботи був аналіз причин погіршення екологічного стану ґрунту в зоні впливу автомагістралі. Основними завданнями були аналіз просторового розподілу забруднюючих речовин у ґрунтовому покриві територій, прилеглих до транспортної інфраструктури та оцінка їх впливу на фітотоксичність ґрунту та його ферментативну активність. У результаті експериментальних досліджень проб ґрунту, відібраних на різній відстані від автомагістралі (5 м, 50 та 100м) побудовано залежності даних показників якості ґрунту від відстані до автомагістралі. Дослідження полягали у визначення рівнів забруднення та вивчення змін біологічних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів під впливом транспортних викидів. Аналіз дозволив виявити основні екологічні ризики та потенційні наслідки для стану довкілля та здоров'я населення та розробити рекомендації щодо можливості впровадження екологічно безпечних технологій відновлення ґрунтів в зоні впливу автомагістралей.

Висновки. У результаті виконання досліджень проаналізовано основні джерела забруднення, пов'язані з експлуатацією транспортних магістралей, зокрема, викиди

транспортних засобів, накопичення важких металів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин у ґрунтовому покриві. Визначено характер та ступінь трансформації фізико-хімічних властивостей ґрунтів на територіях, прилеглих до доріг. Проаналізовано вплив автотранспортної магістралі на фітотоксичність ґрунту та його ферментативну здатність. Окреслено основні екологічні ризики та наслідки для довкілля та здоров'я населення. Запропоновано підходи до зменшення негативного впливу транспортної інфраструктури, зокрема, впровадження заходів з відновлення порушених ґрунтів.

Література

1. Abderrahmane, B., Benmbarek, N., Mansouri, T., & Merdas, A. (2021). Influence of highway traffic on contamination of roadside soil with heavy metals. *Civil Engineering Journal*, 7(8). https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091736

2. Чайка, О. Г., Мацьків, О. О., Стокалюк, О. В., & Руда, М. В. (2018). Дослідження вмісту важких металів у ґрунті на прилеглих територіях автозаправних станцій. *Науковий вісник НЛТУ України (Scientific Bulletin of UNFU)*, 28(10), 62–65.

3. Jaworska, H., & Lemanowicz, J. (2019). Heavy metal contents and enzymatic activity in soils exposed to the impact of road traffic. Scientific Reports, 9, 19981.

4. Shi, T., Zhao, Y., Li, X., et al. (2024). Heavy metals in roadside soil along an expressway connecting two megacities in China: Accumulation characteristics, sources and influencing factors. *Science of the Total Environment*, 955, 177095. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177095

УДК 504.064.2:551.435.3(597.3)

МАКРОСМІТТЯ ЯК ІНДИКАТОР ФУНКЦІОНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА БЕРЕГОВУ ЗОНУ ЗАТОКИ НЯЧАНГ (В'ЄТНАМ)

***Науменко Д.О.**, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти;*
***Карпов В.Г.**, доцент,*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
м. Харків, Україна

Забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами є одним із найвиразніших проявів антропогенного тиску на морські та берегові екосистеми. Для швидко урбанізованих узбереж Південно-Східної Азії ця проблема має особливу гостроту, оскільки формування сміттєвого навантаження відбувається одночасно під впливом масового туризму, рибальства, аквакультури, міського стоку та гідродинамічного перерозподілу плавучих предметів [1-4]. У таких умовах макросміття може розглядатися не лише як власне забруднювач, а і як польовий індикатор функціонального типу навантаження на берегову зону.

Метою дослідження було встановити, наскільки кількісні та типологічні характеристики макросміття відображають функціональні особливості різних ділянок берегової зони затоки Нячанг. Об'єктом дослідження виступала прибережна зона м. Нячанг (провінція Кханьхоа, В'єтнам), що поєднує туристичну, рибальсько-аквакультурну, урбанізовану, периферійну та мангрову складові. Предметом дослідження були щільність, матеріальний склад, ймовірне джерело походження та розмірна структура макросміття.

Польове обстеження виконано у квітні 2026 р. методом разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) на трансектах завдовжки 50 м з реєстрацією предметів розміром понад 2,5 см. Для порівняння обрано п'ять типологічно контрастних ділянок, а саме центральний туристичний пляж Trần Phú, рибальсько-аквакультурну зону Vĩnh Lương, ділянку в зоні гирла річки Кай, умовно-контрольну північну периферійну ділянку та мангровий масив лагуни Đầm Nha Phu. Класифікація предметів проводилася за матеріалом, ймовірним джерелом походження і розмірним класом; польові дані документувалися з використанням цифрового застосунку власної розробки.

Загалом на площі 3 850 м² зафіксовано 2 122 одиниці макросміття, середня щільність становила 0,551 од./м². Просторова мінливість показника виявилася суттєвою. Так, мінімальна щільність зареєстрована на центральному туристичному пляжі (0,244 од./м²), максимальна на умовно-контрольній периферійній ділянці (1,058 од./м²). Отже, прямий рівень відвідуваності не є єдиним чинником забруднення. На фактичну концентрацію макросміття істотно впливають регулярність прибирання, морфологія берега, гідродинамічне перенесення та віддаленість ділянки від систематичного управлінського контролю.

Таблиця 1

Кількісні показники забруднення дослідних ділянок макросміттям

Ділянка	Функціональний тип	Площа, м²	Кількість, од.	Щільність, од./м²
Trần Phú	туристична	500	122	0,244
Vĩnh Lương	рибальсько-аквакультурна	1 750	740	0,423
Гирло р. Кай	річково-урбанізована	250	156	0,624
Північна периферія	умовно-контрольна	850	899	1,058
Đầm Nha Phu	мангрова	500	205	0,410
В цілому		3 850	2 122	0,551

Матеріальний склад відходів підтверджує домінування полімерного забруднення. Так, пластик і пінополістирол разом становили 78,5% від усіх зареєстрованих предметів. Найвища частка пластику виявлена на умовно-контрольній ділянці (81,6%), що свідчить про накопичення плавучих і довговічних предметів у зоні з обмеженим прибиранням. На рибальсько-аквакультурній ділянці також переважав пластик (61,2%) і пінополістирол (27,7%), однак очікуване домінування суто рибальського сміття не підтвердилося, за джерелом походження тут переважали побутові відходи (89,1%). Це вказує на змішаний характер навантаження, коли рибальська інфраструктура поєднується з побутовим використанням берегової зони.

Найбільш показовою структурною аномалією стала мангрова ділянка Đầm Nha Phu, де 63,9% предметів мали будівельне походження, а цегла становила 53,2% матеріального складу. Для мангрових екосистем, які зазвичай функціонують як природні пастки плавучого пластику, така структура забруднення є індикатором додаткового локального техногенного тиску. Водночас центральний пляж Trần Phú характеризувався найвищою часткою туристичного сміття (20,5%) і переважанням дрібної фракції S (63,1%), що узгоджується з рекреаційним використанням території та накопиченням дрібних предметів одноразового споживання.

Отримані результати дозволяють розглядати макросміття як інтегральний індикатор функціонального навантаження на берегову зону. Туристична ділянка відображає рекреаційне споживання й ефект регулярного прибирання; рибальсько-аквакультурна зона - змішування побутових і господарських потоків; гирло річки Кай - надходження міського сміття з водозбору; периферійна ділянка - накопичення дрейфового матеріалу за відсутності постійного управлінського втручання; мангрова зона – поєднання акумуляційної здатності біогеоморфологічного бар’єра з локальним будівельним навантаженням.

Таким чином, просторовий розподіл макросміття в затоці Нячанг формується взаємодією чотирьох груп чинників, а саме прямого антропогенного навантаження, управлінського втручання, гідродинамічного перерозподілу та морфології берега. Саме ця взаємодія пояснює ситуацію, коли найбільш відвідувана туристична

ділянка має найнижчу щільність макросміття, тоді як умовно-контрольна периферійна ділянка демонструє максимальну концентрацію. Отже, для оцінювання екологічного стану берегової зони недостатньо враховувати лише інтенсивність безпосереднього використання території; необхідно поєднувати кількісний облік з типологічною інтерпретацією джерел і механізмів накопичення відходів.

На підставі проведено дослідження висновуємо наступне. 1. Макросміття є інформативним індикатором функціонального навантаження на берегову зону затоки Нячанг, оскільки його щільність, матеріальний склад і джерело походження відображають специфіку використання різних ділянок узбережжя. 2. Найвища щільність зафіксована не на туристичному пляжі, а на периферійній умовно-контрольній ділянці, що підкреслює роль гідродинамічного перенесення та нерівномірності управлінського контролю. 3. Домінування полімерних матеріалів (78,5%) підтверджує провідну роль довговічного пластику і пінополістиролу у формуванні прибережного забруднення. 4. Мангрова ділянка Đầm Nha Phu потребує окремої уваги через нетипове домінування будівельних відходів. 5. Для практичного управління доцільно включити периферійні та мангрові ділянки до регулярних маршрутів моніторингу, а разові обстеження трансформувати у стандартизований часовий ряд із використанням цифрового польового протоколу.

Література

1. Fulfer V. M. Time-series of shoreline marine debris highlights impact of urbanization on coastal pollution pathways, Nha Trang, Vietnam / V. M. Fulfer, L. Nguyen-Ngoc, J. P. Walsh // Marine Pollution Bulletin. – 2025. – Vol. 218. – Article 118156. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2025.118156.

2. Fruergaard M. Abundance and sources of plastic debris on beaches in a plastic hotspot, Nha Trang, Viet Nam / M. Fruergaard [et al.] // Marine Pollution Bulletin. – 2023. – Vol. 186. – Article 114394. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114394.

3. Duong T. L. Macro- and meso-marine debris on beaches in Khanh Hoa Province, Vietnam: density, composition, and pollution indicators / T. L. Duong [et al.] // Vietnam Journal of Marine Science and Technology. – 2023. – Vol. 23, № 4. – P. 387–396. – DOI: 10.15625/1859-3097/18234.

4. Pham T. M. T. Initial assessment of the presence of plastic waste in some coastal mangrove forests in Vietnam / T. M. T. Pham [et al.] // Green Processing and Synthesis. – 2023. – Vol. 12. – Article 20230037. – DOI: 10.1515/gps-2023-0037.

СЕКЦІЯ 2. ВОЄННИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ПОВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ
WAR-RELATED ENVIRONMENTAL IMPACTS, ENVIRONMENTAL SAFETY AND POST-WAR RECOVERY

УДК 631.15+332.3

ПІСЛЯВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

***Кучер А. В.**, доктор економічних наук, старший дослідник*
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна
ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» м. Харків, Україна

Післявоєнне відновлення якісного стану земель безпосередньо пов’язане із резильєнтністю земель і землекористування загалом. Результати пошуку за ключовими словами «resilience» і «land» у базі Scopus показали, що станом на 20.04.2026 р. у світі опубліковано й проіндексовано у цій базі 387 документів, що містять вказані терміни у назві статей. Водночас зміна формату пошуку на фразу «land resilience» у назві статей показала, що цьому критерію відповідає лише сім документів [1–7]. Нами було проаналізовано ці роботи в контексті можливості їх використання як теоретичного підґрунтя для побудови концепції резильєнтності землекористування в аспекті післявоєнної відбудови.

На основі виникнення резильєнтності й здатності системи оброблюваних земель до її покращення у своєму дослідженні C. Jin і H. Du запропонували комплекс індексів для оцінки резильєнтності системи оброблюваних земель і характеристики її просторово-часової еволюції в Сіньцзяну за досліджувані 20 років, а також рекомендації з політики щодо сталого використання оброблюваних земель із позиції резильєнтності [1]. Результати показали, що резильєнтність системи оброблюваних земель у досліджуваному регіоні дещо зросла, але загальний рівень все ще залишався низьким, а просторова неоднорідність була сильною, при цьому здатність до трансформації зменшилася. Через різні фактори, що впливають на резильєнтність у різних регіонах, системи оброблюваних земель було розділено на п’ять зон відповідно до резильєнтності; на основі цього запропоновано план оптимізації для покращення відповідної здатності [1]. Інші китайські вчені обґрунтовують систему оцінки резильєнтності міських земель із позиції різних зацікавлених сторін [2]. Оцінка резильєнтності міських земель необхідна для забезпечення безпеки міст під час різноманітних стихійних лих, особливо для міст в екологічно вразливих районах. Учені проаналізували соціальні, економічні й екологічні наслідки забудови міст у довгостроковій і короткостроковій перспективі, ураховуючи думку різних зацікавлених сторін. Ступінь участі й обізнаності зацікавлених сторін має важливий вплив на систему

оцінки резильєнтності міст. Перегляд системи оцінки резильєнтності міських земель допомагає захистити довкілля та покращити безпеку міст [2].

Щоб дослідити масштаби деградації земель, опустелювання або резильєнтності в Чорногорії протягом 20-го та початку 21-го століть, J. Nyssen зі співавторами перефотографували ландшафти, зафіксовані на 48 історичних фотографіях, що датуються періодом між 1890 та 1985 рр., і напівкількісно за допомогою експертної системи оцінювання проаналізували зміни землекористування та покриву, що відбулися [3]. Установлено, що рослинний покрив значно збільшився, а неродючі території займають менше місця. Індустріалізація привела до сильної урбанізації. Незважаючи на стабільне зростання чисельності населення (за винятком гірського регіону), рослинний покрив помітно збільшився всюди, що сприяло більшій інфільтрації опадів. У цілому їхня робота свідчить про те, що в результаті боротьби з ерозією та значного відновлення рослинності, зміни, що зафіксовані протягом століття, привели до резильєнтності земель, а не до деградації [3].

У своєму огляді S. Sharma та ін. досліджують складний взаємозв'язок між різноманітністю видів рослин, їхньою здатністю відновлюватися після порушень і процесом відновлення постіндустріального середовища [4]. Визначено специфічні механізми, за допомогою яких рослини адаптуються до порушень, спричинених людиною, та відновлюють свою екологічну роль. Досліджуючи ефективність методів відновлення, вчені акцентують увагу на повторне введення місцевих видів, покращення якості ґрунту та залучення місцевого населення. Оцінюючи соціальні й екологічні наслідки біорізноманіття ландшафту, слід ураховувати взаємні переваги, які забезпечуються як для добробуту людини, так і для стабільності екосистем [4], що є важливим для післявоєнної відбудови.

Слід погодитися з тим, що керівники органів місцевої влади відіграють вирішальну роль у плануванні сталого розвитку й адаптації до зміни клімату, а також у сфері політики землекористування, проте мало що відомо про те, як занепокоєння керівників щодо ризиків небезпек впливають на впровадження політики резильєнтності або як цей зв'язок може відрізнятися залежно від різних ландшафтів і типів небезпек [5]. Пов'язування занепокоєння керівників щодо стихійних лих із їхнім вибором щодо планування особливо актуальне для планування резильєнтності до адаптації до зміни клімату, оскільки викиди парникових газів є глобальними, але шкода, спричинена зміною клімату, є локальною. Для вибірки міст у штаті Флорида, США, S. Kim та ін. здійснили емпіричний аналіз взаємозв'язків між проблемами керівників органів місцевої влади, пов'язаними з кліматичними катастрофами, та їхніми пріоритетами планування резильєнтності для чотирьох типів небезпек: річкові повені, підвищення рівня моря, штормові нагони й урагани/торнадо. Спираючись на дані опитування й результати логістичної регресії, установлено, що зафіксовані

відмінності між цими небезпеками зберігаються навіть після контролю об’єктивних ризиків і відповідних характеристик громади [5].

Використовуючи інтегрований геопросторовий аналіз резильєнтності сільськогосподарських угідь за допомогою дистанційного зондування на основі NDVI та ГІС, учені оцінили просторово-часовий вплив урбанізації в регентстві Слеман, Індонезія [6]. Це дослідження дало змогу зрозуміти просторово-часові закономірності й трансформацію здоров’я сільськогосподарських земель. Протягом досліджуваного періоду вони зафіксували тривожне та послідовне скорочення здорових сільськогосподарських земель. Це спричиняє погіршення здоров’я сільськогосподарських рослин через зменшення площі сільгоспземель. Геопросторовий аналіз виявив помітну тенденцію розширення міст на територію раніше родючих земель, що підкреслює нагальність інтегрованого просторового планування. Щоб протидіяти цій тенденції, проактивна охорона й ефективне державне регулювання визначених сільськогосподарських зон є вкрай важливими для забезпечення сталого вирощування основних продовольчих культур у регіоні та підтримки стану сільськогосподарського ландшафту. Посилення політики сталого розвитку міст у гармонії із сільськогосподарськими інтересами має вирішальне значення для забезпечення процвітаючого та збалансованого соціально-економічного зростання [6].

Учені X. Du та ін. досліджують взаємозв’язок резильєнтності землі та розподілу врожайності сільськогосподарських культур, щоб пояснити природу взаємодії між погодою, якістю земель і врожайністю [7]. Концептуальна модель передбачає наявність взаємозв’язків заміщення між показниками водного стресу та якістю ґрунту, а також порогового рівня водного стресу, зумовленого станом ґрунту, за межами якого ґрунт не може пом’якшити наслідки для врожайності сільськогосподарських культур. Їхня модель надає певне підтвердження гіпотезі про те, що якісніші землі більш резильєнтні до водного стресу [7].

Отже, проблема резильєнтності землекористування у світі розглядається переважно в контексті змін клімату або співвідношення різних видів земель. Водночас поза увагою залишається питання резильєнтності земель і землекористування в аспекті впливу війни та післявоєнного відновлення.

Подяка. Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках НДР «Економіка деградації земель унаслідок війни та їх повоєнного відновлення: інноваційні практики сталого управління аграрним природокористуванням», № д. р. 0124U000518.

Література

1. Jin C., Du H. Characteristics of spatial and temporal changes and zoning of cultivated land resilience in Xinjiang. Arid Zone Research. 2024. 41 (10), pp. 1778–1788. DOI: 10.13866/j.azr.2024.10.15

2. Han X., Mu Y., Zeng X., Muhammad M., Song G. Assessment system of urban land resilience based on cities on the loess plateau from the view of different stakeholders. Lecture Notes in Civil Engineering. 2025. 729 LNCE, pp. 77–87. DOI: 10.1007/978-981-95-1573-8_5

3. Nyssen J., van den Branden J., Spalević V., Frankl A., van de velde L., Čurović M., Billi P. Twentieth century land resilience in Montenegro and consequent hydrological response. Land Degradation and Development. 2014. 25 (4), pp. 336–349. DOI: 10.1002/ldr.2143

4. Sharma S., Likhita J., Sharma S., Sharma G., Kumar A., Kumar R., Pandey V.C. Plant diversity on post-industrial land: resilience and restoration. Biodiversity and Ecosystem Services on Post-Industrial Land. 2024, pp. 119–169. DOI: 10.1002/9781394187416.ch5

5. Kim S., Andrew S.A., Ramirez de la Cruz E., Kim W.-J., Feiock R.C. Impacts of local government perceptions of disaster risks on land resilience planning implementation. Land. 2024. 13 (7), 1085. DOI: 10.3390/land13071085

6. Pamungkas G.B., Firmansyah M.R., Tamara A.P., Zainul R. Integrative geospatial analysis of agricultural land resilience using NDVI-based remote sensing and GIS: spatio-temporal impacts of urbanization in Sleman regency (2017–2022). International Journal on Informatics Visualization, 2025. 9 (5), pp. 2231–2239. DOI: 10.62527/joiv.9.5.2127

7. Du X., Hennessy D.A., Feng H., Arora G. Land resilience and tail dependence among crop yield distributions. American Journal of Agricultural Economics. 2018, 100 (3), pp. 809–828. DOI: 10.1093/ajae/aax082

УДК 504

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ПОЛЬОВЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТЕРИТОРІЇ САЛТІВСЬКОГО РАЙОНУ В КОНТЕКСТІ КОНЦЕПЦІЇ ЗЕЛЕНОГО ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

***Гречко А.А.**, доктор філософії з «Наук про Землю», **Радченко Д.Р.**, студентка*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
м. Харків, Україна

Повномасштабна військова агресія спричинила не лише масштабні руйнації житлової забудови, а й глибоку деградацію урболандшафтів. Салтівський район м. Харків, як один із найбільш постраждалих житлових масивів Європи, потребує застосування концепції «Nature-based Solutions» (NbS) для відновлення екологічної стійкості. Натурні дослідження параметрів ґрунтового покриву та температурних аномалій є критично важливими для наукового обґрунтування стратегій «зеленого» повоєнного відновлення.

Доцільність впровадження NbS у процесах повоєнної реконструкції підтверджується сучасними науковими підходами до сталого міського розвитку. Зокрема, концепція «зеленого відновлення» базується на принципах відновлення екосистемних послуг, що було ґрунтовно досліджено у роботах європейських вчених щодо ревіталізації постконфліктних територій. Дослідники зазначають, що інтеграція зеленої інфраструктури дозволяє не лише покращити мікроклімат, а й забезпечити психологічну реабілітацію населення через відновлення природного середовища [1, 2].

Вплив військових дій на міські едафічні умови та формування «островів тепла» внаслідок руйнувань є малодослідженим аспектом, проте існуючі розробки вказують на пряму кореляцію між деградацією рослинного покриву та зростанням антропогенного навантаження на ґрунти (забруднення продуктами детонації, зміна pH через бетонний пил) [3].



Рис. 1. Район проведення інструментальних замірів

Процес збору первинних даних здійснювався шляхом проведення комплексного польового обстеження території Салтівського житлового масиву, яке було реалізоване 16 квітня 2026 року (рис.1). Організація досліджень базувалася на прямих інструментальних замірів безпосередньо в межах урбанізованого ландшафту в умовах весняної вегетації.

Для вивчення мікрокліматичних параметрів середовища та ідентифікації локальних «островів тепла» було застосовано метод інфрачервоної термографії із використанням ручного портативного тепловізора. Натурна зйомка, проведена 16 квітня, дозволила зафіксувати розподіл теплових потоків у період активного прогріву поверхонь, що є репрезентативним для оцінки терморегуляційної ролі зелених насаджень на початкових етапах вегетаційного періоду (рис.2).

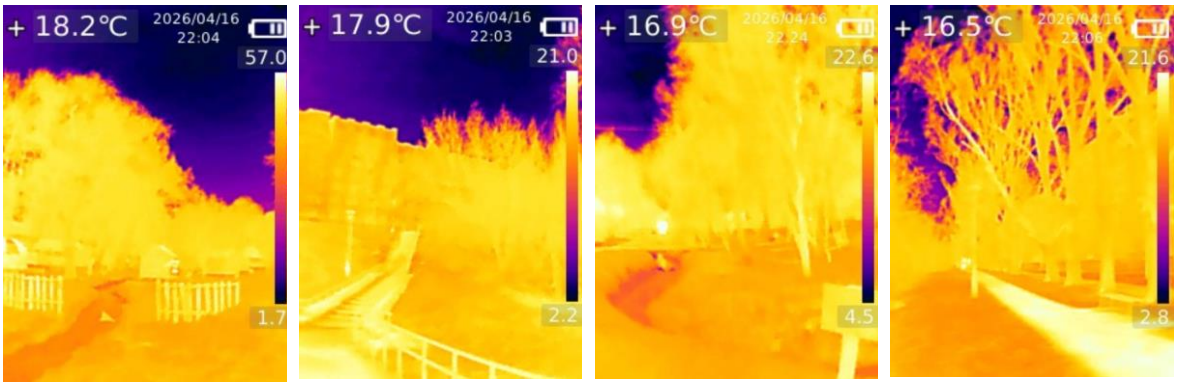


Рис. 2. Результати термографічного обстеження дослідної ділянки

Паралельно з термографічним моніторингом виконувалося едафічне обстеження території для встановлення ключових характеристик ґрунтового покриву. Визначення показників актуальної вологості та водневого показника (pH) здійснювалося безпосередньо в польових умовах за допомогою електронного аналізатора, оснащеного спеціалізованим контактним щупом. Процедура дослідження передбачала занурення вимірювального щупа безпосередньо у кореневмісний шар ґрунту, що дозволило отримати точні дані про стан зволоження та рівень лужності субстрату в точках найбільшого техногенного впливу.

Усі отримані результати обстеження території представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати натурних обстежень ґрунтового покриву дослідної ділянки Салтівського району

Координати ділянки	Температура верхнього шару грунтового покриву, C°	Рівень pH	Рівень вологості, %, RH
50,00877° Пн, 36,33202° Сх	18,9	7,0	53,9
50,00798° Пн, 36,33321° Сх	24,6	6,18	53,1
50,00810° Пн, 36,33204° Сх	17,3	6,23	51,3

На основі проведеного аналізу отриманих даних та результатів натурних обстежень, виконаних 16 квітня 2026 року, можна зробити висновок, що екосистема Салтівського житлового масиву перебуває у стані активної мікрокліматичної та едафічної трансформації. Зафіксована під час термографічного моніторингу амплітуда температур верхнього шару ґрунту, яка коливається в межах від 17,3°C до 24,6°C, наочно демонструє нерівномірність теплового прогріву територій навіть у період весняної вегетації, що підтверджує ризик формування інтенсивних «островів тепла» в літній період. При цьому встановлено, що показники кислотності ґрунту (pH 6,18–7,0) наразі перебувають у межах нейтральних та слабокислих значень.

Стабільність вологості ґрунту на рівні 51,3–53,9% свідчить про збереження гідрологічного потенціалу на початкових етапах вегетації, проте потребує захисних заходів для запобігання швидкій дефляції та пересушенню в умовах техногенного навантаження.

З огляду на ці результати, стратегія «зеленого» відновлення Салтівського району має базуватися на впровадженні багатофункціональних рішень Nature-based Solutions, де ключовим елементом постає формування багатоярусного зеленого каркасу для ефективного затінення та нівелювання виявлених термічних аномалій. Видовий склад рослинності при цьому повинен підбиратися з урахуванням виявленої варіативності pH та здатності рослин до фіторемідації ґрунтів, що зазнали забруднення внаслідок бойових дій. Для підтримки оптимального водного режиму та збереження вологості, зафіксованої під час польових обстежень, пропонується інтеграція систем дощових садів та біодренажу, що дозволить відновити природний гідрологічний цикл.

References

1. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action / N. Kabisch та ін. *Ecology and Society*. 2016. Т. 21, № 2. DOI: https://doi.org/10.5751/es-08373-210239

2. Nature-based solutions for resilient landscapes and cities / R. Lafortezza та ін. *Environmental Research*. 2018. Т. 165. С. 431–441. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.038

3. Ismayilov M., Kuchinskaya I., Karimova E. Impact of military conflicts on landscape transformation (a case study for the Aghdam district of the Republic of Azerbaijan). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*. 2025. № 62. С. 194-204. DOI: https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-15

УДК 631.4:[504.61:355.01]

ПРОСТОРОВА НЕОДНОРІДНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ РУХОМИМИ ФОРМАМИ СВИНЦЮ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ

***Грищенко О.М.**, канд. с.-г. наук[1], **Пташнік М.М.**, канд. с.-г. наук[1], **Гунчак М.В.**, канд. с.-г. наук[2], **Литвиненко І.В.**, канд. с.-г. наук[1]*

[1]Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна

2 Чернівецький регіональний центр Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна

Війна є одним із найпотужніших антропогенних чинників трансформації ґрунтового покриву. Її наслідки проявляються у механічному руйнуванні поверхневого шару ґрунту, формуванні вирв, ущільненні, порушенні мікрорельєфу, зміні водного режиму, а також у хімічному забрудненні токсичними речовинами. Особливої актуальності ця проблема набула для південних регіонів України, де значні площі сільськогосподарських угідь зазнали мінування, артилерійських, ракетних, мінометних та авіаційних ударів. За таких умов одним із пріоритетних напрямів екологічної оцінки порушених земель є вивчення вмісту важких металів, зокрема рухомих форм свинцю, що становлять безпосередню загрозу для агроекосистем і можуть включатися у трофічні ланцюги [1, 2].

Свинець належить до токсичних елементів із вираженою кумулятивною дією. Його надходження у ґрунт на територіях, ушкоджених унаслідок бойових дій, пов’язане з уламками боєприпасів, продуктами вибуху, залишками військової техніки, паливно-мастильними матеріалами, металевими фрагментами та іншими техногенними рештками [3]. Особливу небезпеку становлять саме рухомі форми свинцю, оскільки вони є більш доступними для рослин, можуть мігрувати в ґрунтовому середовищі та характеризують потенційний екологічний ризик. Для земель сільськогосподарського призначення це має виняткове значення, оскільки навіть локальні осередки забруднення можуть обмежувати безпечне використання ділянок у подальшому.

Для територій порушених унаслідок воєнних дій характерним є не суцільне рівномірне забруднення, а локально-осередковий тип розподілу токсичних елементів [3, 4]. Саме тому оцінювання таких земель лише за середніми показниками не дає змоги повною мірою встановити екологічні ризики. Необхідним є просторово деталізований підхід, який дозволяє виявити «гарячі точки» забруднення, пов’язані з конкретними місцями вибухів, накопиченням уламків боєприпасів, осередками горіння чи переміщенням техніки [5]. У цьому аспекті особливий інтерес становлять землі Херсонської області, які зазнали інтенсивного воєнного впливу та водночас мають важливе значення для сільськогосподарського виробництва.

Метою дослідження було оцінити просторову неоднорідність забруднення ґрунтів Херсонської області рухомими формами свинцю на територіях, ушкоджених унаслідок бойових дій, та виявити локальні зони підвищеного екологічного ризику.

Об’єктом досліджень слугували ґрунти земельних ділянок, розташованих у межах Бериславського та Херсонського районів Херсонської області. Матеріалом для аналізу були 347 змішаних проб ґрунту, відібраних із 24 земельних ділянок загальною площею 1496,7 га. До обстеження залучали території, що зазнали різних форм воєнного впливу: мінування, артилерійських, мінометних, ракетних та авіаційних ударів. На частині ділянок було виявлено вирви, сліди пожеж, залишки боєприпасів, фрагменти знищеної техніки, сліди нафтопродуктів, фортифікаційних споруд та ущільнення ґрунту.

Відбір проб здійснювали з орного шару ґрунту відповідно до вимог чинних стандартів. Земельні масиви поділяли на елементарні ділянки, що дало змогу забезпечити достатню просторову деталізацію дослідження. Із кожної елементарної ділянки формували змішаний зразок на основі індивідуальних проб. Уміст рухомих форм свинцю визначали в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Для оцінювання екологічного стану ґрунтів використовували норматив гранично допустимої концентрації для рухомих сполук свинцю. Статистичну обробку результатів проводили із застосуванням показників описової статистики та аналізу просторової варіабельності.

Установлено, що середньозважений уміст рухомих форм свинцю в обстежених ґрунтах становив 1,47 мг/кг. Межі варіювання показника – від 0,49 до 5,07 мг/кг за середніми значеннями на ділянках. Загальний коефіцієнт варіації становив 63,8 %, що свідчить про високий рівень просторової неоднорідності забруднення. Одержані результати підтверджують, що розподіл свинцю на досліджених землях має мозаїчний, локально-осередковий характер і формується під впливом сукупності воєнних та ґрунтово-екологічних чинників.

Найвищі середні значення вмісту рухомих форм свинцю зафіксовано в межах с. Старосілля Великоолександрівської територіальної громади, де показник становив 5,07 мг/кг. Підвищені значення також виявлено в межах с. Благодатне Високопільської територіальної громади – 2,81 мг/кг та с. Таврійське Тягинської територіальної громади – 2,24 мг/кг. Найнижчі середні значення встановлено в межах смт Велика Олександрівка – 0,49 мг/кг та с. Костирка – 0,57 мг/кг.

Особливо важливим є те, що середні значення по ділянках загалом не перевищували гранично допустиму концентрацію, однак в окремих пробах уміст свинцю досягав 15,0 мг/кг, тобто перевищував норматив у 2,5 рази, що вказує на формування локальних аномалій, які можуть бути замасковані під час узагальнення результатів на рівні поля чи земельної ділянки. Отже, відсутність перевищення нормативу за середнім показником не означає відсутності екологічного ризику в межах окремих ділянок.

Аналіз структури розподілу проб за рівнями забруднення показав, що 36,9 % обстежених земель характеризувалися відсутністю забруднення, 26,4 % – слабким рівнем, 17,7 % – помірним, 9,4 % – середнім, 3,9 % – підвищеним, 4,4 % – високим та 1,5 % – дуже високим рівнем забруднення. Отже, на фоні відносно значної частки територій без ознак забруднення або зі слабким його проявом спостерігається наявність локальних ділянок із небезпечним накопиченням свинцю. Саме ці осередки становлять найбільший

ризик у разі повернення земель до сільськогосподарського використання без попереднього детального обстеження.

Підвищені концентрації свинцю переважно були приурочені до ділянок, де фіксували інтенсивні обстріли, численні вирви, сліди пожеж, залишки боєприпасів, нафтопродуктів і знищеної техніки. Це дає підстави пов'язувати накопичення свинцю з локальними джерелами техногенного надходження, що виникають унаслідок бойових дій. Разом із тим ступінь механічного порушення території не завжди прямо відповідав середньому вмісту рухомих форм свинцю. Це свідчить про складний характер формування просторової строкатості забруднення, зумовлений не лише інтенсивністю бойового впливу, а й особливостями мікрорельєфу, гранулометричного складу, сорбційних властивостей ґрунту та локального перерозподілу уламків боєприпасів та військової техніки.

Таким чином, для ґрунтів Херсонської області, ушкоджених унаслідок бойових дій, характерна виражена просторова неоднорідність забруднення рухомими формами свинцю. Виявлений мозаїчний характер розподілу, наявність локальних аномалій і перевищення нормативу в окремих пробах свідчать про неможливість обмежуватися лише узагальненими середніми оцінками. Для екологічно безпечного повернення таких земель у сільськогосподарське використання необхідні просторово деталізований моніторинг, картування зон підвищеного ризику, уточнення меж локальних осередків забруднення та розроблення рекультиваційних і ґрунтоохоронних заходів. Такий підхід дасть змогу мінімізувати ризики вторинного забруднення, підвищити обґрунтованість управлінських рішень і забезпечити безпечніше відновлення агровиробництва на постраждалих територіях.

Література

1. Certini G., Scalenghe R., Woods W. I. The impact of warfare on the soil environment. Earth-Science Reviews. 2013. Vol. 127. P. 1–15. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009

2. Broomandi P., Guney M., Kim J. R., Karaca F. Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. Sustainability. 2020. Vol. 12, No. 21. 9002. DOI: https://doi.org/10.3390/su12219002

3. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L. et al. Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. Land. 2024. Vol. 13, No. 10. 1614. DOI: https://doi.org/10.3390/land13101614

4. Smirnova K., Baliuk S., Kucher A., Vorotyntseva L., Honcharova A. Ecological and toxicological condition of militarily degraded chernozems: A case study of the Chkalovsk territorial community. Scientific Horizons. 2024. Vol. 27, No. 11. P. 90–104. DOI: https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.90

5. Грищенко О. М., Паламарчук Р. П., Шляхтуров Д. С. та ін. Забруднення ґрунту рухомими формами важких металів унаслідок бойових дій на території Миколаївської області. Агроекологічний журнал. 2025. № 4. С. 96–107. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345436

УДК 504.06:330.341.1

ВПЛИВ ВОЄННОГО СТАНУ НА ТЕМПИ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ

***Поліщук Антон**, студент магістратури 5 курсу, **Коренюк Людмила**, доцент*
Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, Україна

Сучасний етап розвитку світового господарства характеризується значним зростанням антропогенного навантаження на довкілля. Антропогенне навантаження може мати як виробниче (соціально-корисне) так і військове (деструктивне)походження. Одним із проявів екологічних дисбалансів є деградація природних екосистем та загострення екологічних проблем. За даними United Nations [1], понад 75% наземних екосистем зазнали істотних змін унаслідок діяльності людини, зокрема через урбанізацію, інтенсивне сільське господарство, вирубку лісів та забруднення навколишнього середовища. Близько 1 млн видів рослин і тварин перебувають під загрозою зникнення. Це зумовлює необхідність переходу до моделі сталого розвитку, що передбачає раціональне використання ресурсів і активне відновлення природного середовища.

Однією з ключових загроз збалансованому природокористуванню є швидка зміна клімату. Внаслідок індустріалізаційних процесів та зростання антропогенного тиску на довкілля має місце посилення темпів зміни клімату у вигляді потепління. Відповідно до оцінок Intergovernmental Panel on Climate Change [2], середня глобальна температура вже зросла приблизно на 1,1°C за період 1850–2020 рр. порівняно з доіндустріальним рівнем. При цьому рівень Світового океану підвищився приблизно на 20 см з початку XX століття, а темпи його зростання продовжують прискорюватися. Подальше підвищення температури може призвести до незворотних змін у природних системах. Важливим є виконання положень Paris Agreement.

Відновлення лісових ресурсів, водних екосистем та земельних угідь є ключовими напрямами екологічної політики. За даними Food and Agriculture Organization [3], щорічно втрачається близько 10 млн га лісів. За інформацією World Health Organization, близько 2 млрд людей не мають доступу до безпечної питної води, причому найбільше це стосується країн Африки на південь від Сахари, Південної Азії та окремих регіонів Латинської Америки. У цих регіонах спостерігається високий рівень водного стресу, що призводить до поширення інфекційних захворювань і соціально-економічної нестабільності.

Енергетичний перехід та розвиток циркулярної економіки також є важливими чинниками екологічної стійкості. Традиційна енергетика, заснована на використанні викопного палива (вугілля, нафти, газу), є основним джерелом викидів парникових газів. Водночас відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова та гідроенергетика, дозволяють значно зменшити негативний вплив на довкілля. За даними International Energy Agency, частка відновлюваних джерел енергії перевищує 30%, а за оцінками World Economic Forum, циркулярна економіка може зменшити

викиди на 40%. Екологічні проблеми завжди були додатковим навантаженням для національних економік.

Для України ці проблеми ускладнюються умовами воєнного стану. За оцінками United Nations Environment Programme, екологічні збитки сягають десятків мільярдів доларів. Руйнування інфраструктури, пожежі на промислових об'єктах, витоки небезпечних речовин і забруднення ґрунтів та вод значно погіршують екологічну ситуацію. За попередніми оцінками, понад 20% території України зазнали екологічного впливу бойових дій, а значні площі сільськогосподарських земель є замінованими та непридатними для використання що посилює новітню екологічну кризу в Україні.

Для узагальнення ключових екологічних проблем та шляхів їх вирішення доцільно представити їх у табличній формі (Табл. 1).

Таблиця 1

Основні екологічні проблеми та напрями їх вирішення

Проблема	Статистичні дані	Основні наслідки	Напрями вирішення
Зміна клімату	+1,1°C за період від 1850-2020 рік до доіндустріального рівня	Екстремальні погодні явища, танення льодовиків	Скорочення викидів, ВДЕ, заміна на безпідходні та іноваційні технології
Вирубка лісів	~10 млн га/рік	Втрата біорізноманіття, CO_2	Лісовідновлення
Забруднення води	2 млрд людей без доступу до безпечної води (країни Африки, Південної Азії та окремих регіонів Латинської Америки)	Хвороби, дефіцит води	Очищення та контроль
Пластикове забруднення	11 млн т/рік в океан	Загибель морських організмів	Переробка, обмеження пластику
Наслідки війни в Україні	Десятки млрд $ збитків	Забруднення, руйнування екосистем	Рекультивація, розмінування

У післявоєнний період особливого значення набуває екологічна реабілітація територій, що включає розмінування, відновлення земельних угідь лісів та водних ресурсів. Важливу роль відіграють міжнародна підтримка та впровадження принципів сталого розвитку (уточнити які принципи).

Отже, відновлення довкілля є стратегічним завданням сучасності, в умовах глобалізації що потребує комплексного підходу, особливо під призмою воєнного стану в Україні. Екологічна стійкість має стати основою національної безпеки в контексті довгострокового сталого розвитку.

Література

1. Глобальні екологічні оцінки та аналітика: https://www.unep.org/
2. Наукові дані щодо зміни клімату та глобального потепління: https://sl1nk.com/45uzu0p
3. Food and Agriculture Organization: https://sl1nk.com/95hwlyg
4. Наслідки війни для екології України: https://mine.dsns.gov.ua/

УДК 504.06:330.341.1

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ В УКРАЇНІ

***Кугай Владислав**, студент, **Коренюк Людмила**, доцент*
Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, Україна

Повномасштабна війна в Україні спричинила безпрецедентні еколого-економічні втрати, що мають довготривалий системний характер і впливають як на стан природного середовища, так і на економічну стійкість держави. Внаслідок бойових дій відбувається масове забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами та вибуховими речовинами, руйнування водних екосистем, знищення лісових масивів і порушення природної рівноваги.

За офіційними даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (https://mepr.gov.ua/), станом на 2025 рік зафіксовано понад 3,5 тисячі випадків екологічних злочинів, пов'язаних із військовими діями, а загальна сума завданих збитків оцінюється більш ніж у 2 трлн грн. Значним екологічним ударом стало руйнування Каховської гідроелектростанції у 2023 році, що призвело до масштабного затоплення територій, втрати біорізноманіття та критичних змін гідрологічного режиму Дніпровського басейну. Додатково, за оцінками Програми ООН з довкілля UNEP (https://www.unep.org/), подібні техногенно-екологічні катастрофи мають довгостроковий ефект відновлення, що вимірюється десятиліттями.

Особливої уваги потребують масштабні лісові пожежі у прифронтових регіонах, площа яких у 2024–2025 роках сягала сотень тисяч гектарів. Це призводить не лише до втрати екосистем, але й до значного зростання викидів парникових газів, що поглиблює кліматичні ризики. Подібні процеси фіксуються у звітах World Bank (https://www.worldbank.org/en/country/ukraine), де зазначається, що загальна вартість екологічного відновлення України може перевищити 50 млрд доларів США.

Узагальнення основних екологічних наслідків військових дій дозволяє виділити системні групи впливу. Забруднення ґрунтів проявляється у накопиченні токсичних речовин і призводить до втрати родючості та деградації земель. Забруднення водних ресурсів виникає внаслідок руйнування інфраструктури та витоку хімічних речовин, що створює дефіцит якісної питної води та загибель водних екосистем. Атмосферне забруднення формується через пожежі, вибухи та руйнування промислових об'єктів, що погіршує якість повітря. Знищення лісів призводить до втрати біорізноманіття та посилення ерозійних процесів, а руйнування інфраструктури створює довгострокові вторинні екологічні ризики. Так, за даними Міністерства довкілля та природних ресурсів України за останні роки зафіксовано понад 3500 екологічних злочинів. При цьому за офіційною оцінкою економічні збитки сягають понад 2трлн.грн.У прифронтових регіонах лісові пожежі охопили сотні тисяч гектар. При цьому за даними World Bank вартість відновлення порушеного довкілля сягає понад 50 млрд. грн.

Таблиця 1

Основні екологічні наслідки військових дій

Сфера впливу	Основні процеси	Наслідки
Ґрунти	Накопичення токсичних речовин, вибухових залишків	Втрата родючості, деградація земель
Вода	Руйнування інфраструктури, витік хімікатів	Дефіцит питної води, загибель екосистем
Атмосфера	Пожежі, вибухи, руйнування підприємств	Погіршення якості повітря
Ліси	Масові пожежі, бойові дії	Втрата біорізноманіття, ерозія ґрунтів
Інфраструктура	Руйнування промислових об’єктів	Вторинне забруднення територій

Для оцінки рівня екологічного навантаження використовується співвідношення використаних природних ресурсів до обсягу їх відновлення, що відображає ступінь екологічної рівноваги системи. В умовах війни цей показник суттєво перевищує одиницю, що свідчить про критичне виснаження природного капіталу та порушення механізмів самовідновлення екосистем.

Практичні кейси підтверджують системність екологічної кризи. Руйнування Каховської ГЕС стало однією з найбільших техногенно-екологічних катастроф сучасної України, що спричинило довготривалі зміни гідрологічного режиму та деградацію природних систем. Масові лісові пожежі у прифронтових зонах призводять до втрати природних екосистем і збільшення парникового ефекту, а руйнування промислових підприємств формує осередки хімічного забруднення, що ускладнює відновлення територій.

У таких умовах особливої актуальності набуває формування адаптивної моделі збалансованого природокористування, яка передбачає інтеграцію державного регулювання, міжнародної підтримки та інноваційних майже безвідходних технологій. Важливими інструментами виступають циркулярна економіка, розвиток відновлюваної енергетики, екологічне оподаткування, цифровий моніторинг довкілля та міжнародні інвестиційні програми. Значну роль у відновленні відіграють міжнародні інституції, зокрема United Nations Environment Programme та World Bank., які забезпечують фінансову та експертну підтримку екологічних програм.

Військовий стан в Україні суттєво змінив роль екологічної проблематики, перетворивши її на елемент національної безпеки, оскільки руйнування природних систем, забруднення територій і виснаження ресурсів формують довготривалі наслідки для довкілля, економіки та здоров’я населення, при цьому збалансоване природокористування набуває практичного значення як інструмент післявоєнної відбудови, спрямований на відновлення природного капіталу та зниження екологічного навантаження, а його реалізація передбачає поєднання державного регулювання, екологічної політики та інституційних механізмів контролю, що в перспективі дозволяє забезпечити більш стійку модель розвитку, де екологічна безпека є складовою державної стратегії.

УДК 579.26:502.3

ВПЛИВ РАКЕТНИХ УРАЖЕНЬ НА СТАН МІКРОБОЦЕНОЗУ ҐРУНТУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО БІОЛОГІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ

***Воробей А.В.**, Чернігівський ліцей № 1 Чернігівської міської ради, м. Чернігів, Україна*
***Воробей Ю.О.**, к.б.н., Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, м. Чернігів, Україна*
***Логоша О.В.**, д.ф., Національний університет "Чернігівська політехніка", м.Чернігів, Україна*
***Кальчицька Г.В.**, Чернігівський ліцей № 1 Чернігівської міської ради, м.Чернігів, Україна*

Стан ґрунтового мікробоценозу визначається за чисельністю і структурою різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Бактерії та мікроміцети відіграють ключову роль у підтриманні біогеохімічних циклів елементів живлення, забезпечуючи трансформацію органічної речовини та кругообіг Нітрогену, Фосфору й інших біогенних елементів. Зокрема, амоніфікація органічних сполук азоту, що здійснюється гетеротрофними мікроорганізмами, є важливим етапом мінералізації органічної речовини та формування доступних форм азоту для мікробних і рослинних угруповань. Інтенсивність цих процесів значною мірою визначає рівень родючості ґрунту та стабільність його екологічних функцій.

В умовах воєнних дій ґрунтові екосистеми зазнають значного антропогенного навантаження. Вибухові впливи призводять до порушення фізичної структури ґрунту, зміни його щільності та пористості, що обмежує аерацію і водопроникність. Одночасно відбувається хімічне забруднення ґрунтового середовища компонентами боєприпасів, зокрема важкими металами та продуктами детонації вибухових речовин, що негативно впливає на життєдіяльність мікроорганізмів. Порушення кислотно-лужного балансу та деградація органічної речовини додатково обмежують функціонування мікробних угруповань.

У березні 2024 року внаслідок ракетного удару біля села Козилівка (Чернігівська область) було зафіксовано масштабне руйнування ґрунтового покриву. Проби відбирали через 7 та 14 місяців у зоні ураження та на контрольних ділянках. Методом серійних розведень визначали чисельність мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп. Для виявлення *Azotobacter* використовували селективне середовище Ешбі та метод «обростання ґрунтових грудочок».

Результати проведених досліджень свідчать, що через 7 місяців після ракетного ураження чисельність мікроорганізмів, здатних засвоювати органічні та мінеральні форми азоту, була істотно нижчою порівняно з контрольними ділянками. Через 14 місяців відзначено тенденцію до зростання чисельності мікробних популяцій у пошкодженому ґрунті, однак морфологічна різноманітність

колоній залишалася значно нижчою, ніж у контрольному варіанті. Отримані результати свідчать про поступове, проте неповне відновлення структури мікробного угруповання та вказують на довготривалий характер деградаційних змін у ґрунтовому мікробіомі.

Встановлено, що флуоресціюючі бактерії роду *Pseudomonas*, які характеризуються високою екологічною пластичністю та здатністю продукувати широкий спектр біологічно активних метаболітів, в уражених ґрунтах через 7 місяців не виявлялися. Лише через 14 місяців після вибухового впливу спостерігалося часткове відновлення їх чисельності.

Особливо чутливою до антропогенних порушень виявилася група діазотрофних мікроорганізмів, які забезпечують біологічну фіксацію атмосферного азоту. У контрольних ґрунтах відзначено високу чисельність азотфіксувальних мікроорганізмів, що свідчить про сприятливий стан мікробного ценозу та достатній рівень біологічної активності ґрунту. Натомість у ґрунтах, що зазнали ракетного ураження, чисельність діазотрофів через 7 місяців була меншою за контроль у 640 разів, а через 14 місяців – у 40 разів. Така різка редукція азотфіксувальних популяцій свідчить про суттєве порушення біологічного кругообігу азоту та формування дефіциту біологічного азоту в уражених екосистемах.

Особливу індикаторну цінність у дослідженні стану ґрунтових мікробоценозів мають бактерії роду *Azotobacter*, які є типовими представниками аеробних азотфіксаторів і широко використовуються як біоіндикатори екологічного стану ґрунту. У ґрунтах контрольних ділянок спостерігалося 86-100 % обростання ґрунтових грудочок, що свідчить про високий рівень біологічної активності. Водночас у ґрунтах, що зазнали ракетного ураження, представників роду *Azotobacter* не виявлено ні через 7, ні через 14 місяців після вибухового впливу.

Таким чином, отримані результати підтверджують значний деструктивний вплив ракетних уражень на структуру та функціонування ґрунтового мікробоценозу, що проявляється різким зниженням чисельності функціонально важливих груп мікроорганізмів та збідненням біорізноманіття мікробіоти. Встановлені закономірності свідчать про необхідність розроблення біологічних підходів до відновлення деградованих ґрунтів.

У процесі досліджень із ґрунтів контрольних ділянок виділено 15 нових штамів бактерій роду *Azotobacter*, які можуть бути використані як перспективний біологічний матеріал для створення мікробних препаратів, спрямованих на біоремедіацію та відновлення родючості ґрунтів, пошкоджених унаслідок воєнних дій. Використання таких біотехнологічних підходів має важливе значення для стабілізації агроекосистем і забезпечення продовольчої безпеки України.

УДК 504.062

URBAN RECOVERY STRATEGIES IN THE CONTEXT OF WAR IN UKRAINE

Husieva, K.D.**, PhD (Geography), **Popova, L.O.**, **Shablii, O.V.
Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine

Topicality. Pollution and biodiversity loss, such as contamination from anti-tank ammunition or the destruction of natural reserves due to explosions, are tolerated by warring parties as a byproduct of combat, with cascading impacts on public health. On the other hand, environmental degradation is also deliberately employed as a long-term strategy to weaken adversaries by rendering environments uninhabitable, thereby creating zones of strategic denial during withdrawals. The combustion of fuels and propellants in military machinery – including aircraft, drones, autonomous artillery, armored vehicles, and explosives such as bombs, bullets, and missiles – substantially increases atmospheric concentrations of NH_3, CO, SO_2, NO_x, CH_4, CO_2, chlorofluorocarbons, particulate matter (PM), and radionuclides. These emissions are also associated with localized atmospheric warming [1].

During the first six weeks of the Russian invasion of Ukraine, for example, satellite data recorded average $PM_{2.5}$ concentrations of 24.2 $\mu g/m^3$ – approximately 1.6 times the WHO's 24 h recommended limit. Ground-based measurements in Kyiv revealed concentrations reaching as high as 300 $\mu g/m^3$. In addition to $PM_{2.5}$, emissions of NO_2, CO, O_3, and SO_2 surged in eastern Ukraine, where hostilities were most intense. Nationwide SO_2 emissions rose by 38.06% [1].

In contrast, the long-term consequences of war on environmental quality are far more pervasive. Structural damage to buildings, energy and water infrastructure, and transportation systems – combined with mass displacement, rapid urbanization, and weakened environmental governance – contribute to persistent pollution and ecological degradation. These post-conflict conditions often lead to chronic traffic congestion, a reliance on decentralized and inefficient energy generators, open fires for heating and cooking. These developments result in significant increases in $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2, and total volatile organic compound emissions. Their health impacts – especially on respiratory systems – place severe strain on fragile healthcare infrastructures [1]. These facts highlight the urgent need to address air pollution, especially considering the simultaneous increase in pollutant levels and drought conditions.

Methodology. Participants of a focus group discussion held as part of the EU- funded CRISPRO project in Savona, Italy, explored urban recovery needs, highlighting six key resources as essential for urban recovery: governmental and public security, human and social, economic, construction, environmental and lifeline infrastructure. These findings underscore the need for a structured, resource- centred framework for urban recovery planning [2].

A systemic, participatory approach is of great importance for identifying vital urban functions for post- disaster recovery. Moreover, in the absence of emergency limit condition functions, recovery dynamics reorganize around alternative foundational elements, with temporary housing emerging as a central local hub. These insights demonstrate that long- term

recovery planning must extend beyond emergency services to include essential daily functions that sustain community well- being and enable a return to normalcy.

Findings. Sustainability emphasizes that post-war reconstruction should not only repair damage but also promote systems and practices that are adaptable, resource-efficient, and equitable across generations. This perspective reinforces the importance of integrating environmental stewardship, cultural continuity, and inclusive development into recovery frameworks. Spatial mapping and remote sensing tools could complement field research by identifying patterns of destruction, restoration, and gentrification across historic urban cores. Moreover, economic modelling of heritage investment could strengthen the business case for heritage-led development [3].

Recovery must be structured across specific timeframes to be effective:

– Short-term (1–2 years): focus on immediate stabilization of severely damaged sites, rapid heritage assessments using drones, GIS mapping, and photogrammetry in coordination with displaced residents, and public awareness campaigns to rebuild cultural engagement and prevent looting.

– Medium-term (3–5 years): capacity building, vocational training in traditional building techniques, establishing community heritage councils for participatory planning, and pilot cultural tourism routes, while enforcing sustainability criteria to mitigate over-tourism.

– Long-term (5+ years): institutionalizing participatory frameworks into national policy, embedding resilience planning tools into urban planning protocols, and establishing a national database for longitudinal tracking of site restoration, community impact, and funding allocations.

A promising strategy is the adoption of the Circular Economy, which can enhance resilience and sustainability by promoting resource efficiency, reducing dependency on raw materials, energy and water, and stimulate innovative solutions and business opportunities to manage and recover from crises. The recovery of Ukrainian cities requires more than just rebuilding walls; it requires a Build Back Circular approach. This framework provides a holistic approach, integrating physical, social, environmental, and economic resilience to recovery. Typical actions during recovery processes include the clearance, removal, and disposal of debris, provision of temporary and permanent housing, preservation of cultural and historical sites, and provision of psychosocial support. [4]

To ensure a sustainable future, the following measures are recommended:

1. Energy transition: shifting from fossil fuels to renewable sources (solar, wind, hydropower) to reduce long-term emissions.
2. Green infrastructure: expanding urban green spaces, including parks and gardens, to absorb pollutants and improve air quality.
3. Pollution control: enforcing stricter regulations on industrial emissions and vehicle exhausts to limit the release of harmful pollutants into the atmosphere.
4. Food security: focus on integrated program development, local agricultural support, financial aid enhancements, community resilience, and improved market accessibility to reduce mortality rates and aid recovery.

5. Community-centric governance: engaging local populations in the recovery process to foster a sense of ownership and psychological healing.

6. Integrated planning: combining environmental health, heritage preservation, and efficient public transport into a single, cohesive urban development strategy.

Conclusions. Based on recent studies, several policy and rehabilitation strategies are essential to address the ongoing environmental challenges and improve air quality:

– Integration of environmental health into urban planning: urban development plans should explicitly consider environmental health factors, focusing on reducing pollution sources and enhancing green infrastructure. Establishing green belts and restoring ecosystems near the city can improve air quality and promote regional rainfall through favorable microclimates.

– Transition to renewable energy sources: given the heavy reliance on fossil fuels and decentralized energy production, investing in centralized renewable energy systems (solar, wind, and hydropower) is crucial. This shift will reduce harmful emissions from combustion and contribute to sustainable urban energy supply.

– Implementation of air purification technologies: the deployment of advanced air purification and emission control technologies in industrial and transportation sectors is necessary to minimize pollutant release. Stricter regulations and regular monitoring of industrial emissions and vehicle exhaust should be enforced.

– Development of efficient public transport and alternative mobility: to reduce traffic congestion and emissions, an integrated and efficient public transportation system should be developed, and connectivity with satellite towns should be promoted, as well as the use of electric vehicles and non-motorized transport.

– Community engagement and awareness programs: educating the population about the sources and health impacts of air pollution, along with promoting energy conservation and sustainable living practices, will foster community participation in environmental protection.

– Long-term monitoring and research: establishing continuous environmental monitoring networks and conducting longitudinal studies will provide critical data to evaluate the effectiveness of implemented strategies and guide future actions.

References

1. Altahaan, Z.; Dobslaw, D., 2025: Assessing Long-Term Post-Conflict Air Pollution: Trends and Implications for Air Quality in Mosul, Iraq. Atmosphere, 16, 756. https://doi.org/10.3390/atmos16070756

2. Mohammadi, S., et al., 2025: Fuzzy Cognitive Mapping to Uncover Vital Urban Functions and Their Interdependencies for Disaster Recovery. Journal of Contin-gencies and Crisis Management, 33:e70071. https://doi.org/10.1111/1468-5973.70071

3. Noaime, E., Alnaim, M.M., 2025: Heritage and Resilience: Sustainable Recovery of Historic Syrian Cities. Buildings, 15, 2403. https://doi.org/10.3390/buildings15142403

4. Çetin, S., Kirchherr, J., 2025: The Build Back Circular Framework: Circular Economy Strategies for Post-Disaster Reconstruction and Recovery. Circular Economy and Sustainability, 5:1689–1726. https://doi.org/10.1007/s43615-024-00495-y

УДК 712.25(477.54):502

РЕВІТАЛІЗАЦІЯ РЕГУЛЯРНОЇ ПАРКОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ ПАЛАЦОВО-ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСУ «САДИБА» З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ ЛАНДШАФТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

***Гололобов В. В.**, аспірант,*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

До початку повномасштабної війни відновлення Шарівського комплексу перебувало у фокусі національної програми «Велика реставрація» [1]. На регіональному рівні зусилля координувалися Обласною програмою збереження архітектурної спадщини на 2018–2023 рр., де палацово-парковий комплекс «Садиба» було визначено пріоритетним об’єктом. Проєкт відновлення парку передбачав укріплення терас, відновлення балюстрад, дренажних систем, очищення парку від захаращень. Інфраструктурна трансформація передбачала створення на базі ансамблю сучасного етнопарку та туристичного екокомплексу з зонами творчої активності та фестивальними майданчиками.

Масштабні плани, спрямовані на стійкий розвиток та продуктивне використання історичних садово-паркових ландшафтів, були кардинально ускладнені через військові дії, які розпочалися в лютому 2022 року та змістили пріоритети обласної військової адміністрації на забезпечення безпеки критичної інфраструктури, проте реалізація концепцій відновлення Шарівського ансамблю залишається імперативним завданням і визначає ціннісні орієнтири повоєнного відновлення культурного ландшафту регіону.

Метою роботи є розробка візії ревіталізації регулярної зони парку. Дослідження базується на системному аналізі, принципах Квебецької декларації ІКОМОС «Про збереження Духу місця» та 3D-моделюванні у SketchUp.

Серед розмаїття антропогенно трансформованих ландшафтів садово-паркові композиції виділяються як окрема, унікальна група. Ці системи являють собою еталон конструктивної, екологічно збалансованої та інтелектуально осмисленої взаємодії між людською діяльністю та природним середовищем. У їхній структурі створюються оптимально сприятливі передумови для збереження ландшафтного та біологічного різноманіття території. Садово-паркові ландшафти функціонують як генетична пам'ять ландшафту та мають істотний позитивний вплив на формування загальної культури та підвищення рівня освіченості громадян. Відповідно, вони закладають необхідну методологічну основу для сприйняття та ефективної реалізації цілей Стратегії сталого розвитку [3, 4].

Історичний садово-парковий ландшафт зберігає і передає незриме почуття історії, створюючи гармонійний, неперервний міст між величчю минулого та динамікою сьогодення. Його сутність криється у позачасовому образі зустрічі, який розгортається на межі двох доленосних реальностей: світу тихої гідності та

занепаду благородних композицій, де кожен елемент оповідає про втрачену славу – це відлуння епох та світу сучасного соціального запиту, де суспільство шукає в історичних садах емоційної наснаги та естетичного спокою – це запит на живе переживання. Для того, щоб ця зустріч була дійсно плідною, вона має бути сповнена особливої, внутрішньої якості переживань, які проникають глибше візуального сприйняття. Ці переживання мають бути майстерно підтримані та закодовані у витонченій архітектурно-художній виразності просторових форм, у семантичному контексті, який розкриває приховані символи, у наративній глибині, що дає змогу відчути подих часу. Садово-парковий ландшафт перетворюється на живу філософську категорію, де відбувається глибинне осмислення нашого зв'язку з історією та незмінною сутністю *Genius Loci*. Саме це перетворює спадщину на невичерпний соціокультурний ресурс для духовного відродження. Ревіталізація перетворюється на нормотворчий та методологічний процес, що керується міжнародним правом (Québec Declaration on the Preservation of the Spirit of Place) і філософією автентичності.

На рис. 1 продемонстровано результат комплексного тривимірного моделювання, що став підсумком інтеграції картографічних даних ГІС та інструментів об’ємно-просторового проектування. Ця модель є цифровою реплікою регулярної зони Шарівського парку, де архітектурні домінанти та елементи ландшафтного дизайну поєднані з цифровою моделлю рельєфу. На моделі простежується первісна геометрична чіткість регулярної частини, зокрема, балюстрад, видових майданчиків, симетричних парадних сходів до містка над водоймою. Інтеграція 3D-моделі палацу – композиційного вузла – у рельєфну основу дозволяє перевірити видові точки та панорамні розкриття.



Рис. 1. 3D-візуалізація проектного рішення за допомогою інструменту Sketchup 2020.

Деталізована цифрова модель палацу «Шарівський», сформована засобами 3D-моделювання у Sketchup 2020 представлена на рис. 2.

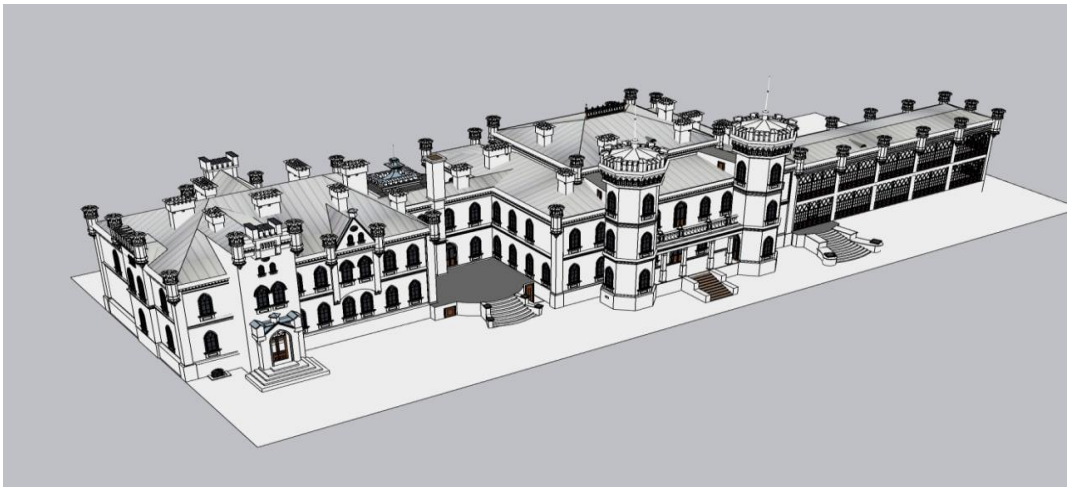


Рис. 2. Цифрова модель палацу «Шарівський».

Деталізована цифрова модель палацу – це віртуальний двійник архітектурного об'єкта, створений з високою просторовою точністю. Вона є синтезом історичних джерел, топографічних даних, переведених у єдиний цифровий формат. Засобами SketchUp відтворено складну конфігурацію фасадів, характерну для неоготичного стилю: зубчасті вежі, парапети, шпилі та стрільчасті віконні прорізи. Модель палацу стає архітектурною домінантою, навколо якої проектуються ландшафтні рішення. Вона слугує основою для подальшого проектування регулярної частини парку, дозволяючи визначити головні видові осі та напрямки панорамних розкриттів, що є базисом для впровадження концепції «Білого Саду» та збереження *Genius Loci*. Комплекс визначальних результатів та прикладних переваг, досягнутих завдяки використанню цієї моделі, систематизовано за аналітичними, стратегічними та концептуальними аспектами, представленій в таблиці 1.

Таблиця 1

Внесок цифрової 3D-моделі палацу в досягнення цілей проєкту

Досягнення	Опис
Верифікація автентичності (аналітичний аспект)	Модель слугує інструментом аналітичної верифікації, дозволяючи здійснювати зіставлення сучасного стану палацу з архівними даними. Це сприяє ідентифікації втрачених або спотворених архітектурних елементів.
Обґрунтування інтервенцій (стратегічний аспект)	Наявність точної 3D-моделі формує наукову базу для віртуальної валідації проєктних рішень.
Формування бази знань (стратегічний аспект)	Модель є цифровим активом. Створюється довгострокова база знань, доступна для майбутніх дослідників, реставраторів та експлуатуючих організацій.

Підтримка концепції (концептуальний аспект)	Модель палацу функціонує як концептуальна домінанта. Вона демонструє, як архітектурна форма взаємодіє з відновленим ландшафтом, надаючи просторовий контекст для реалізації візії «Білий Сад».

Проєктна візуалізація «Білого саду» на регулярних терасах Шарівського парку представлена на рис. 3.

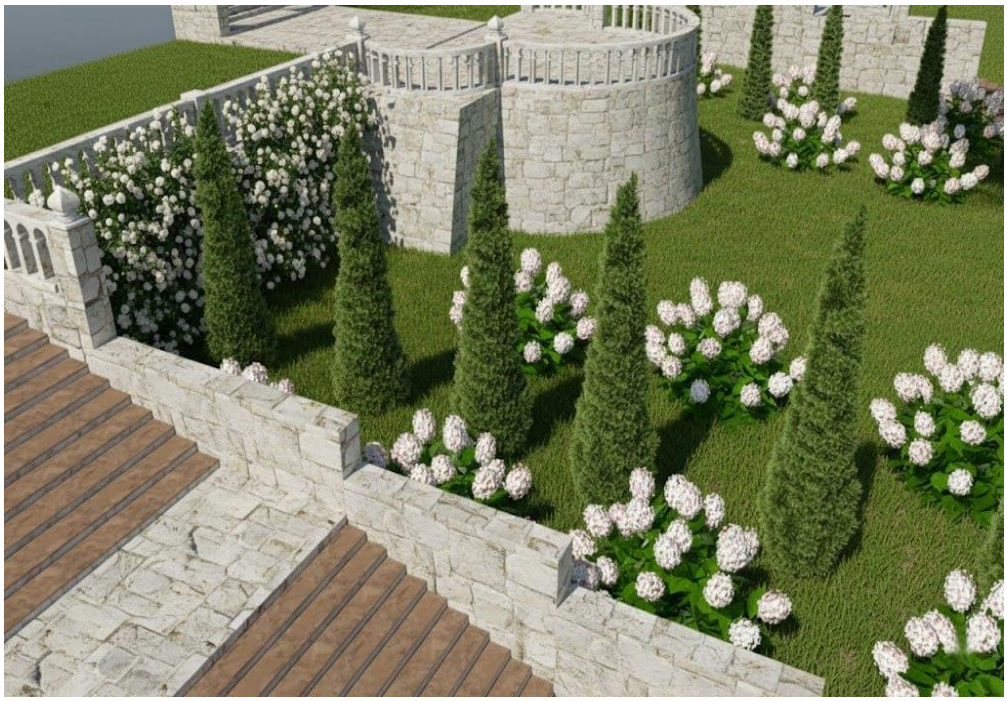


Рис. 3. Візуалізація створення «Білого саду» на регулярних терасах Шарівського парку.

Література

1. «Велика реставрація»: проблеми та перспективи. *LB.ua*. 2021. 2 червня. URL: https://lb.ua/culture/2021/06/02/486052_velika_restavratsiya_problemi.html (дата звернення: 15.04.2026).

2. Обласна програма збереження архітектурної спадщини в Харківській області на 2018–2023 рр. Офіційний сайт Харківської міської ради, міського голови, виконавчого комітету. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: https://ts.lica.com.ua/77/1/375621/13664 (дата звернення: 15.04.2026).

3. Денисик Г., Кравцова І. Періодизація формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2023. Вип. 58. С. 143–158. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-12

4. Кравцова І. В. Садово-паркові ландшафти: формування, структура, значимість. Ландшафтознавство. 2023. Вип. 3(1). С. 29–39. DOI: 10.31652/2786-5665-2023-3-29-39

СЕКЦІЯ 3. СТАЛЕ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ, ҐРУНТОЗНАВСТВО ТА АГРОЕКОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ
SUSTAINABLE LAND USE, SOIL SCIENCE AND AGROECOLOGICAL SYSTEMS

УДК: 338.242,614.8, 332.631.1

SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY OF THE AGROECOSYSTEM AS A TOOL FOR ENSURING SUSTAINABLE LAND USE UNDER THE POST-WAR RECONSTRUCTION

Nunes, L.J.R*, Professor, Polythecnic University of Viana do Castelo, Portugal*
Butrym O.V.*, Doctor of Economy, Senior Researcher, The State Scientific Institution "Institute of Ecological Renovation and Development of Ukraine"(IER), Kyiv, Ukraine*
Panchenko, G.G.*, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, IER, Kyiv, Ukraine*
Yakymchuk, A.Y.*, Dr. Hab., Professor, University of Information Technology and Management, Rzeszów, Poland*

The most complex and multi-vector challenge facing post-war Ukraine is the restoration and preservation of agricultural resource potential with the subsequent ensuring of sustainable development of the agroecosystem, which is burdened by the need to return biennial landscapes to agricultural use. The specified range of problems determines the possibility of ensuring food security and maintaining Ukraine's leading positions in international commodity markets for plant products. It id necessary to remember about more than 20% of arable land in pre-war Ukraine were damaged by erosion, and crop production in general is experiencing negative climatic complications. As already noted [1], the development of organizational and economic conditions for managing agricultural crops based on a green economy, in which the income of land users becomes dependent on the quality of the agroecosystem, which is formed by agrotechnological influences, is extremely relevant for Ukraine. The success of this task requires strengthening institutional capacity and the normative-legislative foundation based on the formation and implementation of a framework system document, which could become the Strategy for Sustainable Development of the Agroecosystem (hereinafter - as the Strategy).

The formation of these conditions can potentially create additional sources of financial investments as a result of the introduction, for example, of green taxation, the extension of taxonomy or CBAM principles to commodity crop products, as well as the formation and introduction of an domestic carbon market for the agricultural land. The benefits of applying green economy tools in crop production are obvious. In addition to creating additional financial and economic investment revenues, the restoration and

preservation of agricultural resource potential, biodiversity, and the agroecosystem as a whole are ensured, with subsequent positive results for the social sphere.

The general principle of operation of the entire system of green economy tools is based on the creation of additional economic incentives for the introduction of economical use of natural resource potential based on a system of transparent, clear, measurable criteria and indicators. The indicators spectrum can be quite wide, but the sublimating effect belongs to the carbon stock indicator, which should have a zonal dimension. This opens up the possibility of taking into account specific local soil, climatic and agro-technological conditions. The dynamics of carbon stocks in the natural components of the agroecosystem are an embodiment of the anthropogenic load level and a measure of the effectiveness of the implementation of a resource-saving measures system, while at the same time it is a trigger for the receipt of additional green investments.

One of the objectives of the Strategy will be to harmonize the requirements of the national legislative field with EU directives and to systematize and generalize a wide range of rules for obtaining received investment revenues. At the same time, belligerent landscapes require special attention, where the restoration of economic activity should begin with demining, assessment of the state of contamination, and appropriate cleaning and reclamation. Therefore, lands affected by military actions should have a special status and a transition period to achieve balanced land use with the subsequent application of green economy tools. The Strategy should create a holistic framework that will ensure the effective implementation of fair and consistent climate mitigation and adaptation policies for the agroecosystem, and demonstrate that this framework can be built and it will work even in the extreme conditions of Ukraine's agro-landscapes affected by armed conflict.

The start of this task is the achieving the harmonized framework multi-directional different European directives requirements. The EU has ambitious goals to restore 20% of degraded ecosystems by 2030[2], reduce greenhouse gas emissions in agriculture by at least 55% by 2030[3], as declared by the Green Deal, and according to the requirements of the Biodiversity Strategy, it is necessary to create conditions for the restoration of pollinators and soil health by 2030[4]. EU climate, agriculture and ecosystem restoration policies currently operate in parallel without systematic coherence: subsidies under the Common Agricultural Policy (CAP), the Nature Restoration Act, the Green Deal strategy “From Farm to Fork” and national agri-environmental programmes, partly overlapping, pursue sometimes conflicting objectives, with different performance indicators and are regulated at different administrative levels. At the same time, inconsistencies in goals, metrics, and time horizons often lead to inconsistent policies [5]. In particular, CAP subsidies have historically prioritize maximizing production, sometimes at the expense of ecosystem services and carbon sequestration potential [6]. In contrast, climate policy emphasizes strategies to reduce greenhouse gas emissions and adapt to climate change, which may not sufficiently take into account agronomic realities or local socio-economic contexts [7]. Environmental directives, such as the Habitats Directive and the Water Framework Directive, set conservation objectives that may conflict with the objectives of

agricultural intensification [8]. Such multi-pronged ness does not contribute to integrated landscape management, leading to suboptimal outcomes where climate mitigation potential is not fully exploited, biodiversity loss is not fully halted, and agricultural livelihoods remain vulnerable. Certain burdens arise due to the difficulty of assessing trade-offs between climate measures, agricultural productivity, and environmental preservation.

The effectiveness of the Strategy's implementation should be ensured by a system of scientifically based land protection measures in a zonal dimension and with special attention to the condition of agricultural lands and the restoration of belligerent landscapes. Developing effective restoration measures requires not only ecological knowledge, but also spatial data on degradation hotspots, an understanding of what is institutionally and economically feasible for local farming communities, taking into account the property rights of the people implementing these measures. This is especially true for Ukraine, where land contamination caused by the war, along with the displacement of the rural population, makes it difficult to apply standard agricultural management systems.

The formation of the Strategy as a consolidating framework state document is in line with the recently approved Strategy for the Development of Agriculture and Rural Areas in Ukraine for the period until 2030[9]. The implementation of the Strategy will contribute to the realization of Ukraine's European integration aspirations, the integration of carbon dynamics into a broader socio-economic context, and the formation of prerequisites for the development of a system of recommendations on land management for the authority bodies and territorial authorities.

References

1. O.I. Bondar, O.V. Butrym, T.M. Yegorova, V.E. Baranovska, D.V. Zaruba. Fiscal regulation of agricultural land use based on low-carbon development. : monograph / Bondar O. I., Butrym O.V., Yegorova T.M. et al. Lviv – Torun: Liha-Press, 2025. 228 p. URL: http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/417

2. Perissi, I., Assessing the EU27 potential to meet the Nature Restoration Law Targets. Environmental Management, 2025. 75(4): p. 711-729.

3. Verschuuren, J., Achieving agricultural greenhouse gas emission reductions in the EU post-2030: what options do we have? Review of European, Comparative & International Environmental Law, 2022. 31(2): p. 246-257.

4. Borràs-Pentinat, S., *The 2030 Biodiversity Strategy: The EU's international commitment and responsibility to reverse the biodiversity loss 1*, in *Deploying the European green deal*. 2024, Routledge. p. 52-76.

Brummitt, N.A. and A.C. Araujo, *The UK's 25 Year plan for the environment and the convention on biological diversity: gaps, synergies and opportunities.* Sustainability, 2024. **16**(7): p. 2975.

5. Saba, A., *Results-based Commitments in the EU Common Agricultural Policy 2023–2027*, in *Legal Implications of Results-based Agri-Environmental and Climate Commitments in the EU Common Agricultural Policy*. 2025, Springer. p. 103-147.

6. He, Y. and Y. Ren, *Can carbon sink insurance and financial subsidies improve the carbon sequestration capacity of forestry?* Journal of Cleaner Production, 2023. **397**: p. 136618.

7. Kabir, K., S. de Vries Robbe, and C. Godinho, *Climate change mitigation policies in agriculture: An overview of sociopolitical barriers.* Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2024. **15**(6): p. e916.

De Silva, A.G.S., et al., *Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Crops and Management Practices: The Impact of the Integrated Crop Emission Mitigation Framework on Greenhouse Gas Reduction.* Agronomy, 2025. **16**(1): p. 5.

Kabato, W., et al., *Towards climate-smart agriculture: Strategies for sustainable agricultural production, food security, and greenhouse gas reduction.* Agronomy, 2025. **15**(3): p. 565.

8. Jing, H., Y. Liu, and J. Hou, *Impacts of agricultural intensification on biodiversity: Habitat loss, agrochemical use, water depletion, and soil degradation.* Journal of Environmental Management, 2025. **395**: p. 128036.

9. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 15, 2024 No. 1163-r "On approval of the Strategy for the Development of Agriculture and Rural Areas in Ukraine for the period until 2030 and approval of the operational plan of measures for its implementation in 2025-2027.

УДК 332.33:35. 632. 51:93

БАЗОВІ ПИТАННЯ З ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРОБЛЕМАТИКИ СУЧАСНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Рудник-Іващенко О.І., доктор *с*.-г. наук,
Інститут садівництва НААН, м. Київ, Україна
Михальська Л.М., канд. біол. наук **,** ***Швартау В.В.***, доктор біол. наук
Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, м. Київ, Україна

Екологічних проблем у природі за відсутності діяльності людини практично не існує. Лише *Homo sapiens* - людина розумна, не замислюючись глибоко за наслідки активної діяльності, творить на планеті екологічні проблеми і потім значними зусиллями пробує їх подолати. Саме втручання людини (непомірне випасання домашньої худоби) призвело до аридизації величезних територій Африки, де ще на рубежі нової ери була типова савання рослинність, а сьогодні найбільша пустеля Сахара. Постійне підпалювання евкаліптових лісів аборигенами під час полювання у Центральній Австралії сприяло формуванню Великої Австралійської пустелі.

Ще 1000 р. тому простори Центральної і Західної Європи понад 80 % вкривали листяні та змішані ліси. На кінець 20-го століття на цій території площа лісів становила в середньому 30-35 % в основному з посаджених хвойних дерев. В Україні ліси у структурі площ займають майже в двічі меншу частку порівняно з західними сусідами.

Культурні рослини на орних землях в Україні в останні роки у другій половині весни та на початку літа потерпають від холодних нічних температур і дефіциту вологи з низькою відносною вологістю повітря (зростає континентальність клімату). Фізіологи стверджують, що швидка зміна температури середовища понад 10 ^{o}C призводить у молодих рослин майже всіх культурних видів до температурного стресу. Для порівняння, за умов Аравійської пустелі Африки (територія на схід від р. Ніл до Червоного моря) різниця денної температури повітря часто перевищує 40 ^{o}C від нічної і рослинність практично відсутня. Температурні стреси і відповідно гальмування продукційних процесів у культурних рослин поблизу значних природних фітоценозів істотно менші. Ліси послаблюють різкі перепади температур і зберігають достатньо високу вологість повітря в регіонах.

Науково доведено, що перетворення на ріллю понад 36-42 % території позбавляє природні біоценози можливості підтримувати рівновагу в регіонах. В Україні ступінь розораності перевищує 57 % території, а в деяких регіонах цей показник сягає до 90 %, що призвело до активного розвитку процесів ерозії орного шару ґрунту. Щорічні втрати гумусу лише від водної та вітрової ерозії досягають астрономічних величин. Пошуки і розробка альтернативних оранці способів основного обробітку ґрунту сприяють зниженню інтенсивності ерозійних процесів зі збереженням рослинних залишків на поверхні не перевертаючи орного шару. Проте і на такому напрямі діяльності на землі не все однозначно. Застосування системи «ноу-тіл», як панацею від усіх проблем землеробства, на жаль такого потенціалу не має. Відсутність механічних обробітків на

важких ґрунтах не забезпечує необхідних умов нормального росту, розвитку і функціонування кореневих систем культури. Компенсувати не оптимальність умов вегетації неможливо інтенсифікацією інших факторів. Наприклад, урожайність кукурудзи на зерно зі щільністю 1,20 г/см^2 за 6 р. досліджень становила в середньому 10,54 т/га, за щільності 1,35 г/см^2 - 6,31. Проте є і інші проблемні питання. Одне з них - застосування інтенсивного хімічного захисту посівів від шкідливих організмів. Відмова від повномасштабних агротехнічних прийомів вимагає адекватної компенсації і нею стають пестициди. Якщо застосування гербіцидів не посилювати як мінімум у 1,5-3,0 рази від традиційного рівня, то поля заростають бур'янами.

Світові втрати врожаю лише зернових культурних рослин від шкідливих організмів щороку становлять в середньому: рису – 95, пшениці – 48, кукурудзи – 46, ячменю – 22 млн. т зерна. Широке використання хімічних засобів захисту виявила не лише позитивні, а й негативні властивості. Регулярне застосування ксенобіотиків (чужих для природного кругообігу речовин) діє не лише на шкідливі цільові об'єкти, а й на всі інші складові біоценозів.

У результаті проведення обприскування посівів буряків цукрових інсектицидами, лише мільйонна частка кількості нанесеного препарату надходить до цільових об'єктів: довгоносиків, блішок і т.д. Основна ж його кількість за призначенням не використовується, це втрати, що проявляють побічну токсичну дію на нецільові організми, забруднюють ґрунт і повітря.

Схожа ситуація в застосуванні на посівах гербіцидів. Як відомо, найчутливіші рослини бур'янів (цільові об'єкти) до дії препаратів у фазу формування сім'ядоль, з найменшою площею власної поверхні. Навіть за наявності 300-350 шт/м^2 сходів рослин бур'янів їх сумарне проективне покриття у фазі сім'ядоль становить від одного до трьох % площі поверхні поля, відповідно, обприскуючи посіви гербіцидами за призначенням попаде лише 1…3 % об'єму робочої рідини.

Результатом інтенсивної господарської діяльності людини (агротехніка, застосування мінеральних добрив, засобів хімічного захисту рослин, значної концентрації посівів культурних рослин близьких видів), формується якісно новий, досить далекий від природного, з малою видовою різноманітністю, хімогенний комплекс пристосованих і агресивних організмів - конкурентів людині за біологічні ресурси. На практиці виробничники все частіше стикаються з резистентними популяціями комах, рас збудників хвороб, підвидів і популяцій рослин бур'янів, на які ефективні препарати вже не діють. Чим інтенсивніший такий вплив, тим більші і різнопланові побічні ефекти проявляються у надзвичайно складних біологічних системах, у повній відповідності до відомого закону Ле Шательє.

Широка практика застосування мінеральних добрив теж створює значні проблеми для довкілля. Постійне вилучення з ґрунту з урожаєм культурних рослин значної кількості біогенних сполук, вимагає відповідної компенсації. Практична відсутність балансу між видаленням і надходженням органогенних сполук, органічного вуглецю та необхідної для мікрофлори енергії в органічних речовинах призводить до дисбалансу і

втрати самої цінної частини ґрунту – гумусу. Органіка побічної продукції культурних рослин, що залишається на полях після збирання урожаю, такий баланс відновити не здатна.

Як альтернативу органічним добривам, сучасні інтенсивні технології передбачають внесення значної кількості мінеральних добрив. Проте така заміна далеко не рівноцінна. Більшість форм мінеральних добрив проявляють кислу фізіологічну реакцію, наприклад, аміачна селітра, сульфат амонію і т. д. Для нейтралізації їх дії ґрунтовий поглинальний комплекс витрачає наявні в орному шарі запаси сполук кальцію, одночасно погіршуються структурні показники ґрунту і підкислюється середовище, порушуються обмінні процеси між кореневою системою рослин і ґрунтовим поглинальним комплексом.

У складі мінеральних добрив містяться побічні речовини, що є токсичними і пригнічують біологічну активність мікрофлори ґрунту і розвиток рослин. Наприклад, фосфорити з Північної Африки містять сполуки стронцію, в апатитах Кольського півострова побічною речовиною є токсичний фтор.

Коефіцієнти засвоєння рослинами діючих речовин з мінеральних добрив є низькими. Наприклад, за умов достатнього зволоження ґрунту сполуки фосфору з суперфосфату або нітрофоски у перший рік після внесення рослини засвоюють лише до 20-25 %, а на другий - до 10 %. У середньому рівень засвоєння азотних добрив рослинами на орних землях не перевищує 50 %. Значна частина діючих речовин з мінеральних добрив легко транслокується у вологих ґрунтах до водоносних горизонтів і забруднює підземні води, що створює значні екологічні проблеми.

Перелік негативних побічних ефектів господарської діяльності людини на орних землях далеко не повний, проте він не дає головного - відповіді: як отримувати все більше продукції рослинництва і одночасно зберігати орний шар ґрунту та не забруднювати довкілля. Яка розумна альтернатива сучасним інтенсивним технологіям вирощування сільськогосподарської продукції може бути прийнятна на майбутнє? Біологічні та біодинамічні системи ведення землеробства, навіть через століття від їх створення, пропаганди та державної фінансової підтримки у багатих країнах Європи, так і не стали масовими. Така форма землеробства можлива для виробництва продуктів дитячого харчування та забезпечення продовольством багатшої частини населення. Забезпечити продовольством людство такі системи не здатні через недостатню їх продуктивність і наявність невирішених проблем, які вирішити конструктивно неможливо. Наприклад, як надійно контролювати поширення і розвиток хвороб на посівах культурних рослин під час епіфітотій без застосування фунгіцидів. Навіть неповний аналіз проблем сучасного землеробства показує, що простими і швидкими рішеннями їх не вирішити.

Сьогодні нам необхідна нова і досконаліша філософія розуміння проблем взаємовідносин людини і природи, а не лише утилітарно-практичне вирішення дрібних і часткових питань. Над цим і необхідно працювати.

УДК 631.1:330

НАПРЯМИ ТА ПРІОРИТЕТИ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ АГРОСЕКТОРУ УКРАЇНИ

***Крюкова І.О.**, д.е.н., професор, **Степанова М.М.**, к.е.н.*
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН,
м. Одеса, Україна

Досягнення цілей сталого розвитку та орієнтирів кліматичної нейтральності економіки України об'єктивно вимагають суттєвих трансформацій системи стратегічного управління та корегування існуючих бізнес-моделей. Здобуття довгострокових конкурентних переваг у контексті подальшої інтеграції у європейський економічний простір передбачає зміну ресурсомістких технологій виробництва та поступову відмову від деструктивних для навколишнього середовища і майбутніх поколінь управлінських рішень на всіх рівнях їх прийняття. Зелений перехід з площини виключно екологічного аспекту для України перетворюється на спосіб якісно нового відновлення національної економіки на принципово нових засадах, що мають забезпечити задоволення інтересів всіх стейкхолдерів та сприяти здобуттю її стійких стратегічних ринкових переваг.

Аграрний сектор посідає провідне місце у екологічних трансформаціях, формуючи міцний базис для розвитку всієї національної економіки, зміцнюючи її експортний потенціал та створюючи передумови підвищення рівня якості життя населення країни. За специфікою розвитку сільське господарство постає одним із найбільш вразливих до кліматичних ризиків видів економічної діяльності та є потужним драйвером низьковуглецевого розвитку. Аграрна сфера має всі можливості стати флагманом серед галузей національної економіки у напрямку досягнення кліматичної нейтральності і сталого розвитку.

У контексті Європейського зеленого курсу основними завданнями зеленого переходу постають: формування стійкої, життєздатної та безпечної системи виробництва продовольства; організація сталих ланцюгів постачання; мінімізація кліматичних змін та скорочення обсягів викидів CO_2; підвищення рівня стійкості продовольчих систем; зменшення втрати біорізноманіття; повне забезпечення населення здоровими та безпечними продуктами харчування [1].

Дефініційні контури категорії «зелена трансформація» у науковій літературі трактують як можливості поєднання економічного зростання із піклуванням про навколишнє середовище з метою забезпечення високої якості життя для нинішніх і майбутніх поколінь на рівнях, досягнутих завдяки цивілізаційному розвитку, а також ефективному та раціональному використанню наявних ресурсів [2]

Зелена трансформація сільського господарства постає складним і багатогранним завданням для економіки України та передбачає здійснення системних трансформацій на засадах екологізації, нових принципів агроменеджменту і підвищення рівня соціально-екологічної відповідальності

бізнесу та суспільства. Серед ключових компонентів загальної архітектури зеленого переходу у агросекторі українські науковці виділяють : енергетичну трансформацію та енергоефективність, розвиток циркулярної агропродовольчої економіки, збереження та відновлення біорізноманіття, екологізацію землекористування, інновації і цифровізацію та фінансово-економічний інструментарій забезпечення реалізації цих перетворень [3,4]

Визначення пріоритетних напрямів зеленої трансформації аграрного сектору України в умовах європейської інтеграції та післявоєнного відновлення базується на необхідності поєднання високої продуктивності виробництва з екологічними стандартами ЄС та України. Ключовим принципом подальшого розвитку українського агробізнесу, на нашу думку, має стати принцип «Build Back Better», який передбачає післявоєнне відновлення сільського господарства країни на якісному вищому рівні, з новими показниками еколого-виробничої продуктивності, що є результатом кліматично оптимізованих агротехнологій. Серед ключових напрямів зелених трансформацій у агросекторі України слід виділити наступні (рис. 1).

Розвиток циркулярної агроекономіки, створення замкнених стійких агропродовольчих ланцюгів доданої вартості, системна декарбонізація та підвищення енергоефективності є фундаментальними передумовами для залучення зелених інвестицій та виконання кліматичних зобов’язань, що взяла на себе Україна відповідно до міжнародних угод і домовленостей. Реалізація визначених напрямів екологічних перетворень у сільському господарстві вимагає зміни стратегічних пріоритетів управління, ведення бізнесу та споживання. Базисом успішних зелених трансформацій постає високий рівень соціальної відповідальності всіх учасників суспільно-економічних відносин: бізнесу, споживачів, держави, місцевих органів самоврядування та територіальних громад.

Пріоритетними векторами зелених трансформацій агросектору України, зокрема, у контексті його післявоєнного відновлення, мають стати: екосистемна ревіталізація та раціональне управління національним природно-біологічним капіталом; подальший розвиток «зеленої» логістики та низьковуглецевих експортних коридорів; інтегроване управління водними і земельними ресурсами; активізація діяльності дорадчих служб та надання комплексної допомоги агробізнесу з питань системних екологічних перетворень; подальша гармонізація і уніфікація стандартів якості і систем виробництва із стандартами ЄС, підвищення рівня екологічної свідомості та соціальної відповідальності бізнесу на основі поєднання комерційних та стратегічних некомерційних пріоритетів розвитку агробізнесу.



Рис. 1. Основні напрями зелених трансформацій у агросекторі Україні
Джерело: складено авторами

Синергія між екологізацією агробізнесу та його економічною продуктивністю формує базис для переходу національної економіки до моделі сталого розвитку, що є критично важливим для довгострокової стійкості української держави.

Література

1. The European Green Deal. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
heba K., Bąk, I., Szopik-Depczyńska K., Ioppolo G. Directions of green transformation of the European Union countries. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 136, 108601.
3. Петруха Н. Сутність та зміст зеленої трансформації сільськогосподарських підприємств. *Економічний аналіз*. 2025. Том 35. № 2. С. 566-579.
4. Кошкалда І. В., Домбровська О. А. «Зелені» інвестиції в аграрному секторі України: перспективи сталого розвитку. *Журнал з менеджменту, економіки та технологій*. 2025. № 1. С. 143-153.

УДК 631.452/459 (477.87)

ДОСЛІДЖЕННЯ ҐРУНТІВ ПОЛОНИНИ БОРЖАВА ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗЕЛЕНОЇ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Фандалюк А.В. *канд. с.-г. наук****, Бандурович Ю.Ю., Полічко В.С.***
Закарпатський регіональний центр ДУ «Держгрунтохорона»,
с. Велика Бакта Берегівського району Закарпатської області

За даними Міністерства енергетики в Україні внаслідок війни пошкоджена значна частина об'єктів відновлюваної вітрової енергетики, так як на частково окупованих Херсонській і Запорізькій областях знаходиться близько 75 % усіх наявних вітроенергетичних потужностей держави, які було зупинено. Оцінити точні втрати можна буде лише після закінчення війни. Як швидко можна відновити роботу сектору ВДЕ й наростити його потужності – залежить від дуже багатьох факторів. Не дивлячись на воєнні дії, інвестори знаходять шляхи відновлення зеленої енергетики. Одним із об'єктів стала гірська зона Закарпатської області, а саме полонина Боржава. Розміщення вітрових електростанцій не потребує великих територій і для яких доцільно використати малопродуктивні землі, які постійно знаходяться під силою вітру. Проте, виникає питання як поєднати збереження природного ландшафту та гірський туризм із відновлюваною енергетикою?

Підкорюють вершини туристи як пішки, так і на позашляховиках, квадроциклах, мотоциклах чи велосипедах. У місцях, де масово пересуваються туристи видно як руйнується рослинний покрив, і під час дощів ґрунт змиває вниз по схилу, утворюючи на місці вчорашньої дороги глибокі вимоїни та яри. Через це, автомобілі проїжджають поруч, створюючи нову дорогу і тим самим знищують ще більшу площу рослинного покриву, який на схилах високогір'я утворювався не одне століття. Цю проблему допомагають вирішити інвестори. Перш за все це прокладання доріг по вже існуючих маршрутах, щоб зменшити вплив ерозійних процесів. Згідно існуючих законів України, пересуватися на транспорті по заповідних територіях заборонено, за винятком доріг загального користування, тому прокладання доріг буде корисним на лише для обслуговування вітряків але і для туристичної галузі, особливо по шляхах виїзду на полонину.

З північного заходу на південний схід в системі Полонинських гір піднімається гірський хребет полонини Боржава. Вона простягнулася приблизно на 50 км з північного заходу на південний схід – від гори Воскресенський Верх і Темнатик до гори Кук (мал.1). Центром ландшафту є вершина Великий Верх (1598 м), де перетинаються два головні хребти. На полонині Боржава верхню межу лісу утворює природний територіальний комплекс з буковими лісами на висоті 900 – 1200 м над рівнем моря. Букові деревостани, висотою 16 – 20 м, різко змінюються трав'яно-чагарниковою рослинністю. Лише підіймаючись вище на гору Великий верх спостерігаємо зміну чагарників чорничника на біловуси, де зазвичай випасають отари овець.

Клімат тут помірно-континентальний, однак суворіший ніж в інших районах. Весна починається пізніше, а зима – раніше на 2 – 3 тижні. Зима настає у другій половині листопада, сніг випадає у другій половині грудня. Сніговий покрив глибокий і стійкий, нерідко до 2 метрів, а танення починається у березні-квітні. Морози сягають інколи нижче -30°С. Для території гірської зони характерна підвищена кількість опадів. Тут в середньому за рік випадає 900 – опадів. В окремі роки, опади в горах досягають, тобто дві середньорічні норми. В окремі місяці може випасти 250 – 400 мм опадів при нормі 70 – 120 мм, а зливові дощі можуть перевищувати місячну норму опадів протягом доби. У такі періоди можливі паводки й інші природні процеси (селі, зсуви тощо), яким сприяє значне перезволоження території. Гірський ландшафт впливає як на перебіг атмосферних процесів (інтенсивність дощів, снігопадів тощо), так і на темпи стоку, розподіл водних ресурсів по території (через мережу гірських долин). Він також впливає через вертикальну поясність на формування ґрунтів та на продуктивність рослинного світу, тобто на екологічний стан гірських комплексів.

Ґрунтовий покрив Воловеччини представлений бурими гірсько-лісовими та дерново-буроземними неглибокими ґрунтами. Материнська порода ґрунтів – щебенюватий елювій-делювій вулканічних і магматичних порід. Розораність земель гірської зони у порівнянні до низинної тут невисока – 23 – 27 %. Однак, зважаючи на те, що всі сільськогосподарські угіддя розміщені виключно на схилах, густо порізані гірськими потоками і потічками та враховуючи те, що тут щорічно випадає до опадів, великої загрози набувають ерозійні процеси. Зважаючи на значну віддаленість цих земель від населених пунктів і те, що це надто холодний пояс (вегетаційний період 90–100 днів), великого практичного значення для ведення сільського господарства ці ґрунти не мають. Загалом луки і пасовища використовуються для випасання і заготівлі сіна, а на природних угіддях населення краю заготовляє дари природи.

Ґрунтовий покрив на досліджуваних земельних ділянках представлений бурими гірсько-лісовими щебенюватими супіщаними кам’янистими ґрунтами полонинського поясу, які згідно номенклатурного списку ґрунтів України і шкали бонітування ґрунтів Закарпатської області відносяться до 189вк агровиробничої групи. Ґрунти на всій досліджуваній території досить одноманітні – темно-сірого забарвлення, з добре вираженою зернисто-дрібногоріхуватою структурою, супіщаного гранулометричного складу, густо переплетені корінням чорничника. У верхній частині горизонту уламки сильно вивітрілі і збагачують ґрунт глиноземом, а у нижній вони мало зруйновані, міцні, поступово переходять у корінну гірську породу – карпатський фліш.

За результатами аналітичних досліджень встановлено, що у всіх відібраних пробах з обстежених ділянок кислотність ґрунтового розчину відповідає дуже сильнокислій реакції, де показник pH від 3,04 до 4,08 одиниць. Бурим гірсько-лісовим ґрунтам властива така кислотність і вона зростає із збільшенням висоти над

рівнем моря. У цих ґрунтах сума увібраних основ кальцію і магнію досить низька, відповідно і низький ступінь насичення основами та велика кількість у ґрунтовому вбирному комплексі окислів алюмінію, які підкислюють ґрунтове середовище. Високу кислотність на цій території підкреслює і рослинний покрив, так як майже вся досліджувана територія вкрита чагарниковими заростями з чорниць (Vaccinium myrtillus L.), які добре ростуть і розвиваються тільки на кислих ґрунтах.

Гумусовий шар ґрунту буроземного типу, зазвичай неглибокий, проте вміст органічної речовини – гумусу у них досить високий. Накопичення гумусових речовин у профілі буроземів відбувається за рахунок розчинних органічних речовин, які вилуговуються при розкладі підстилки. Додатковим джерелом гумусу є також відмираючі коріння рослинності. Згідно проведених аналітичних досліджень уміст органічної речовини у більшості відібраних проб досягає високого рівня, тобто більше ніж 4,1 % і коливається від 4,38 до 7,87 %. Такий високий вміст гумусу ми спостерігаємо не лише у верхніх, але і у нижніх шарах ґрунту. Однак, слід зазначити, що у кислому середовищі такий гумус містить більше фульвокислот і менше гуматів і гумінових кислот, чим робить його менш доступним для рослин.

Результати гранулометричного аналізу ґрунтів показали, що за співвідношенням вмісту фізичної глини і піску верхній гумусовий шар відповідає супіщаному механічному складу, у якому фізичної глини менше ніж 10 відсотків У нижніх шарах гранулометричний склад ґрунту неоднорідний і змінюється від супіщаного до легко- і середньосуглинкового. Загалом це не впливає на агрофізичні властивості досліджуваного ґрунту, більший вплив на його стан має велика кількість щебню і каміння, що значно погіршує показники родючості.

Таким чином, проведені дослідження показали, що обстежені ґрунти відведені для побудови вітроелектростанції характеризуються високою кислотністю, яка відповідає дуже сильнокислій реакції з показником pH менше 4,1 одиниць. У них досить низький ступінь насичення основами та велика кількість у ґрунтовому вбирному комплексі окислів алюмінію, які підкислюють ґрунтове середовище. Уміст органічної речовини – гумусу у цих ґрунтах досить високий і у більшості відібраних проб досягає дуже високого рівня (більше 5 %). Однак, слід зазначити, що у кислому середовищі такий гумус містить більше фульвокислот і менше гуматів і гумінових кислот, чим робить його менш доступним для рослин. За шкалою бонітетів у Закарпатській області (Воловецько-Рахівський район -ПСР-05) агровиробнича група ґрунтів 189вк на сіножатях і пасовищах оцінюється у 19 балів. На основі балу бонітету встановлено, що даний ґрунтовий покрив відноситься до групи земель дев’ятого класу дуже низької якості.

УДК 631.67:631.4:628.1

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА АГРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО

***Лісняк А.А.**, канд. с.-г. наук, доцент, **Захаренко Д.О.**, здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 201 «Агрономія»*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна

Зрошення є ефективним способом підвищення врожайності культур в умовах нестійкого зволоження та кліматичних змін, однак використання води різної якості може спричиняти деградаційні процеси ґрунтів, зокрема вторинне засолення та погіршення їх фізико-хімічних властивостей [1-3]. Особливо чутливими є чорноземи опідзолені, які при тривалому зрошенні мінералізованою водою втрачають природну родючість, тому контроль якості поливної води є важливим для сталого землекористування.

Метою дослідження було встановлення впливу води різного походження на фізико-хімічні властивості чорнозему опідзоленого.

Об’єктом дослідження виступали зрошувальна вода та чорнозем опідзолений, предметом – їх фізико-хімічні та агрохімічні показники.

Досліджували п’ять варіантів води: 1) дистильовану (контроль), 2) водопровідну (м. Харків), 3) річкову (р. Харків), 4) свердловинну (смт Циркуни) та 5) дистильовану з 2 г/л Нітроамофоски (NPK 16:16:16). Ґрунт відбирався поблизу смт Циркуни. Експеримент проводили в модельних умовах циклічного зволоження та висушування, що дозволило оцінити динаміку змін ґрунту. Вимірювання здійснювали портативним кондуктометром і щуповим тестером-аналізатором у трикратній повторності з порівнянням із нормативами та стандартами оцінки якості води і ґрунтів [4-9].

Результати досліджень якості зрошувальної води (табл. 1) показали, що дистильована вода характеризується відсутністю розчинених солей та домішок і є еталоном хімічно чистої води (pH 6,3, мінімальна мінералізація, відсутність солей і біогенних елементів). Водопровідна вода відповідає нормативним вимогам і є придатною для зрошення (pH 7,2, помірна мінералізація та низький вміст поживних елементів). Річкова вода має підвищене біогенне навантаження (азот, фосфати, калій) і обмежену придатність через підвищену мінералізацію та електропровідність. Вода зі свердловини з смт Циркуни характеризується підвищеною мінералізацією та електропровідністю, що визначає її як гранично придатну з ризиком вторинного засолення ґрунтів. Розчин дистильованої води з добривами має екстремально високі концентрації елементів живлення та електропровідність і може в першу чергу рекомендуватися як фертигаційний, а не поливний розчин. Загалом найкращі агрономічні показники має водопровідна вода, тоді як річкова і свердловинна мають обмеження, а добривний розчин (варіант 5) непридатний для стандартного зрошення.

Таблиця 1

Результати лабораторних досліджень визначення якості води

Варіант	Показники поливної води						
	pH водне	Загальна мінералізація, мг/дм^3	Засоленість води, %	Електропровід-ність води, µS/cm	Азот, мг/л	Фосфати, мг/л	Калій, мг/л
1. Контроль (дист. вода)	6,3	4	0	8	0	0	0
2. Водопровідна вода	7,2	342	0,03	756	1,6	0,05	1,2
3. Річкова вода	7,9	853	0,08	1674	15,1	0,8	4,3
4. Вода зі свердловини	8,3	1342	0,13	2656	4,5	0,5	12,2
5. Дистильована вода + добриво (2 г/л)	6,5	1952	0,19	3589	321	167	245
Нормативне значення [4, 5]	*6,0-9,0*	*< 3000*	*0,3*	*3000*	*< 90*	*< 5*	*< 20*

Результати лабораторних досліджень чорнозему опідзоленого показали (табл. 2), що ґрунт до початку зрошення характеризується сприятливими фізико-хімічними властивостями (нейтрально-слабокисла реакція, низька засоленість, відсутність високої електропровідності), однак має низький вміст основних елементів живлення (азоту, фосфору та калію), що визначає необхідність агрохімічного коригування родючості при подальшому використанні в умовах зрошуваного землеробства.

Таблиця 2

Результати лабораторних досліджень визначення якості ґрунту до початку зрошення

Варіант	Показники ґрунту						
	pH водне	Вологість, %	Засоленість, мг/кг	Електропровідність води, µS/cm	Азот, мг/кг	Фосфати, мг/кг	Калій, мг/кг
Чорнозем опідзолений	6,2	31	0,1	821	21	8	11
Нормативне значення [6-9]	*5,5-8,0*	*90*	*0,4*	*3000*	*< 180*	*< 150*	*< 200*

Результати модельного дослідження після одного року зрошення показали різноспрямований вплив якості води на ґрунт (табл. 3): від вимивання поживних елементів до накопичення солей. При зрошенні дистильованою водою зафіксовано найбільше вимивання розчинних солей, азоту, фосфатів і калію (18, 7 і 10 мг/кг), що

пов’язано з відсутністю надходження мінеральних іонів. Водопровідна вода також спричиняє часткове вимивання, але менш інтенсивне. Річкова вода забезпечує часткову компенсацію елементів живлення (азот 82 мг/кг, фосфати 38 мг/кг, калій 68 мг/кг), проте супроводжується зростанням електропровідності ґрунту (1180 µS/cm), що свідчить про початкове засолення. Свердловинна вода призводить до вираженого накопичення солей (ЕС 1850 µS/cm, засоленість 0,22 %) при відносно стабільному вмісті елементів живлення. Найбільші зміни зафіксовано при використанні дистильованої води з добривами, де різко зростають як поживні елементи (N 145, P 120, K 180 мг/кг), так і засолення (ЕС 2650 µS/cm, 0,28 %), що вказує на високе навантаження на ґрунт і ризик вторинного засолення. Загалом низькомінералізовані води сприяють вимиванню елементів живлення, тоді як мінералізовані та добривні розчини — накопиченню солей, що потребує контролю водно-сольового режиму.

Таблиця 3

Результати лабораторних досліджень визначення якості ґрунту після одного року зрошення

Варіант	Показники ґрунту						
	pH водне	Вологість, %	Засоленість води, %	Електропровідність води, µS/cm	Азот, мг/кг	Фосфати, мг/кг	Калій, мг/кг
1. Контроль (дист. вода)	6,1	38	0,05	410	18	7	10
2. Водопровідна вода	6,4	34	0,08	620	55	22	45
3. Річкова вода	6,8	39	0,15	1180	82	38	68
4. Вода зі свердловини	7,3	44	0,22	1850	60	30	95
5. Дистильована вода + добриво 2 г/л	5,9	46	0,28	2650	145	120	180
Нормативне значення [6-9]	*5,5-8,0*	*90*	*0,4*	*3000*	*< 180*	*< 150*	*< 200*

Висновки. Дослідження показали, що якість поливної води є визначальним фактором змін фізико-хімічного та агрохімічного стану чорнозему опідзоленого в умовах зрошення. Основними процесами є вимивання легкорозчинних і поживних елементів, та накопичення солей, інтенсивність яких залежить від мінералізації води. Низькомінералізовані води (дистильована та водопровідна) спричиняють зниження вмісту легкорозчинних солей, азоту, фосфатів і калію, що свідчить про поступове збіднення ґрунту. Річкова вода забезпечує часткову компенсацію поживних елементів, але викликає зростання електропровідності. Свердловинна вода призводить до вираженого накопичення солей і ризику вторинного засолення. Найбільші зміни спостерігаються при використанні дистильованої води з добривами, де різко зростає вміст елементів живлення та електропровідність, що

вказує на високе агрохімічне навантаження. Загалом встановлено, що низькомінералізовані води сприяють вимиванню поживних речовин, а мінералізовані та добривні розчини - їх накопиченню разом із солями, що потребує контролю режимів зрошення.

Література

1. Тараріко Ю.О. Меліорація ґрунтів та управління родючістю. Київ: Аграрна наука, 2015. 380 с.

2. Медведєв В.В. Агроекологія та охорона ґрунтів. Харків: ХНАУ, 2012. 340 с.

3. FAO. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994. 174 p.

4. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 24 с.

5. ДСТУ 7286:2012. Якість води для зрошення. Екологічні вимоги. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2013. 18 с.

6. ДСТУ ISO 10390:2001. Якість ґрунту. Визначення pH. Київ: Держстандарт України, 2002. 6 с.

7. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.

8. ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту азоту. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008. 12 с.

9. ДСТУ 4115:2002. Якість ґрунту. Визначення фосфору та калію. Київ: Держстандарт України, 2003. 15 с.

УДК 338.43:620.92

ЗБАЛАНСОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПОЖНИВНИХ РЕШТОК ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА ЯЧМЕНЮ ДЛЯ ПОТРЕБ БІОЕНЕРГЕТИКИ

Доронін А.В., кандидат економічних наук, старший науковий співробітник
Інститут агроекології і природокористування НААН, *м. Київ, Україна*

Сучасний розвиток аграрного сектору економіки України відбувається в умовах одночасного посилення енергетичних викликів, кліматичних змін та загроз продовольчій безпеці. У зв'язку з цим особливого значення набуває пошук ефективних напрямів використання побічної продукції рослинництва, зокрема пожнивних решток зернових культур, які розглядаються як потенційне джерело відновлюваної енергії. Водночас їх вилучення з агроекосистем може супроводжуватися негативними наслідками для родючості ґрунтів, балансу поживних речовин і загальної екологічної стійкості агровиробництва.

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених біоенергетичному використанню аграрної біомаси, питання еколого-економічної доцільності вилучення пожнивних решток із поля залишається дискусійним і потребує комплексного обґрунтування. Особливо актуальним є визначення допустимого рівня їх використання для енергетичних цілей з урахуванням необхідності збереження родючості ґрунтів та компенсації втрат елементів живлення.

Метою дослідження є оцінка еколого-економічної доцільності вилучення пожнивних решток пшениці озимої та ячменю для виробництва біопалива з урахуванням втрат елементів живлення, витрат на їх компенсацію та впливу на родючість ґрунтів.

Аналіз наукових джерел свідчить, що побічна продукція рослинництва має значний енергетичний потенціал, однак масштаби її вилучення повинні визначатися з урахуванням агроекологічних обмежень [1]. Але, поживні рештки є основним джерелом органічної речовини доступної для рослин. Так, наприклад, вуглець (С) становить близько 40% загальної сухої біомаси і є важливим компонентом для стабільності сільськогосподарських екосистем. Тому його нестачу в ґрунті, через винесення сільськогосподарськими культурами, для нормального росту рослин, здатні відновити пожнивні залишки, що покращує структуру та здатність ґрунту утримувати інші поживні речовини та воду [2].

Побічна продукція рослинництва є важливим джерелом постачання поживних речовин для мінерального живлення рослин як у прямій дії, так і в післядії. Використання соломи пшениці озимої дозволяє істотно зменшити винос із ґрунту основних елементів живлення, створюючи більш сприятливе трофічне середовище у ґрунті для мінерального живлення рослин [3, 4].

Використання соломи є ефективним засобом підтримання бездефіцитного балансу гумусу й поживних елементів, додатковим джерелом органічних добрив [5].

За останні роки площі посівів сільськогосподарських культур в Україні істотно скоротилися, що зумовлено наслідками воєнних дій, тимчасовою окупацією частини територій, змінами структури посівів та загальною трансформацією аграрного виробництва. Зокрема, площа пшениці озимої, яка у 2010 р. перевищувала 6 млн га, зменшилася на 25,2 %, а ячменю — на 60,2 % [6, 7]. Водночас завдяки впровадженню удосконалених технологій вирощування та використанню сучасних високопродуктивних адаптованих сортів відбулося зростання урожайності культур. У середньому за 2023–2024 рр. урожайність пшениці озимої збільшилася на 1,93 т/га, а ячменю — на 1,98 т/га.

Навіть за умов скорочення посівних площ підвищення урожайності забезпечує формування значних обсягів побічної продукції. Загальний обсяг пожнивних решток пшениці озимої становить 7348,9 тис. т, ячменю — 766,0 тис. т. Найбільший вихід побічної продукції з 1 га забезпечує пшениця озима — 7,42 т/га, тоді як ячмінь – 5,49 т/га. Це свідчить про наявність значного ресурсного потенціалу для використання біомаси у біоенергетиці.

З урахуванням вмісту азоту, фосфору та калію в пожнивних рештках і показників урожайності проведено розрахунок винесення елементів живлення за умови використання побічної продукції для виробництва біопалива. Встановлено, що за видалення пожнивних решток з поля найбільше виноситься калію та азоту, тоді як фосфору – менше.

За використання пожнивних решток пшениці озимої для виробництва біопалива з 1 га виноситься: калію – 67,5 кг/га д. р., азоту – 40,8 кг/га д. р., фосфору – 14,8 кг/га д. р. Відповідно за використання побічної продукції ячменю винос елементів живлення є дещо нижчим: калію – 54,9 кг/га д. р., азоту – 27,4 кг/га д. р., фосфору – 11,0 кг/га д. р.

За умов значного дефіциту традиційних органічних добрив побічна продукція рослинництва може частково виконувати функцію альтернативного джерела органічної речовини та елементів живлення в системі удобрення. Проте її вилучення з поля для енергетичних потреб потребує компенсації втрат шляхом внесення мінеральних добрив, що призводить до додаткових витрат і зниження економічної ефективності виробництва.

Розрахунки показали, що для відновлення балансу елементів живлення за видалення пожнивних решток пшениці озимої та ячменю необхідно внести мінеральних добрив (без урахування витрат на їх внесення) на суму відповідно 6113,3 грн/га та 4519,0 грн/га. Це зумовлює зростання собівартості вирощеної продукції та знижує економічну доцільність вилучення біомаси без належних компенсаційних механізмів.

Крім того, заміщення пожнивних решток мінеральними добривами спричиняє додаткове екологічне навантаження, зокрема збільшення викидів діоксиду вуглецю в атмосферу. Так, за внесення мінеральних добрив замість видалених з поля пожнивних решток пшениці озимої та ячменю викиди діоксиду

вуглецю становлять відповідно 177,68 кг CO_2/га та 133,29 кг CO_2/га.

Отже, використання побічної продукції рослинництва для виробництва твердих видів біопалива має розглядатися не лише як джерело відновлюваної енергії, а й як елемент системи збалансованого природокористування, що потребує врахування агроекологічних обмежень. В умовах сучасних кліматичних викликів, дефіциту органічних добрив і необхідності збереження родючості ґрунтів необґрунтоване вилучення пожнивних решток може призводити до погіршення агроекологічного стану орних земель.

Таким чином, встановлено, що підвищення урожайності пшениці озимої та ячменю забезпечує формування значних обсягів побічної продукції, придатної для використання в біоенергетиці. Водночас вилучення пожнивних решток із поля супроводжується істотним винесенням азоту, фосфору та калію, що зумовлює необхідність компенсації втрат шляхом внесення мінеральних добрив, додаткові економічні витрати та зростання викидів CO_2. За відсутності дієвих механізмів компенсації втрат родючості ґрунтів використання пожнивних решток як органічного добрива є більш доцільним з еколого-економічної точки зору, ніж їх вилучення для виробництва біопалива.

Література

1. Безуглий М., Булгаков В. Наукові і практичні аспекти використання соломи і рослинних решток. Аграрний тиждень. 2009. № 20.

2. Бреус Д.С. Використання рослинних решток у сучасному сільському господарстві. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня працівника сільського господарства «Сучасна наука: стан та перспективи розвитку» 17 листопада 2021 р. м. Херсон. С. 363 – 367.

3. Іваніна В.В., Шиманська Н.К., Мазур Г.М. Заходи біологізації в формуванні фосфатного режиму чорнозему типового. *Вісник аграрної науки* 2013, 12, С. 21-24.

4. Данюк М.С., Іваніна В.В. Біологізація системи удобрення та продуктивність буряків цукрових. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції» 23 червня 2022; Вінниця, 2022; С. 115-117.

5. Цилюрик О. Пожнивні рештки як добриво. Дніпровський ДАЕ університет. 2020. URL: http://agro-business.com.ua/ahrarni-kultury/item/18936-pozhnyvni-reshtky-iak-dobryvo.html

6. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України за 2023 рік. Статистичний бюлетень. Київ. 2024.

7. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України за 2024 рік. Статистичний бюлетень. Київ. 2025.

УДК 631.41:631.415.1:579.64(631.811+631.872) (633.491)

МІКРОБІОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ СПОЛУК ФОСФОРУ В РИЗОСФЕРІ КАРТОПЛІ ЗА ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ

***Пищур І.М.**, канд. с.-г. наук*
Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, м. Чернігів, Україна

Фосфор є одним із ключових елементів мінерального живлення рослин, проте його доступність у ґрунті залишається обмеженою через переважання важкорозчинних форм. Коефіцієнт засвоєння фосфору становить лише 5–10 % із ґрунту та 20–25 % із добрив, що зумовлює необхідність активізації біологічних процесів мобілізації фосфатів.

Метою досліджень було з'ясувати особливості мікробіологічної трансформації сполук фосфору в ризосфері картоплі за застосування органічних (гній ВРХ – 40 т/га, пшенична солома – 5 т/га, люпиновий сидерат – 13 т/га вологої надземної біомаси і приблизно стільки ж коренів) і мінеральних добрив (NPK від 40 кг/га до 120 кг/га) на чорноземі вилуженому.

Дослідження проводили у польовому стаціонарному досліді. Визначали чисельність фосфатсолюбілізівних мікроорганізмів, фосфатазну активність ґрунту, рухомість фосфатів, вміст фосфору в рослинах і урожайність картоплі.

Установлено, що внесення органічної речовини сприяло активізації мікробіологічних процесів: чисельність мікроорганізмів, які мінералізують органо- та кальційфосфати, зростала у 2,0–2,6 раза порівняно з контролем. Мінеральні добрива без органічного компонента істотно не впливали на цей показник. Чисельність мікроорганізмів, що розчиняють алюміній- та залізофосфати, залишалася відносно стабільною.

Фосфатазна активність ризосферного ґрунту була найвищою у фазу бутонізації та знижувалася на наступних етапах розвитку рослин. Органічні добрива підвищували її майже вдвічі, тоді як внесення мінеральних добрив знижувало активність на 20–40 % через зростання вмісту доступного фосфору.

Найвищу рухомість фосфатів відзначено у варіантах із мінеральними добривами. Водночас поєднання їх з органічними компонентами підвищувало мобілізацію фосфору до 10–12 %, що пов'язано з активізацією мікробіоти та синтезом органічних кислот.

Урожайність картоплі значною мірою залежала від системи удобрення і зростала від 16,26 т/га у контролі до 38,94 т/га за органо-мінерального удобрення. Максимальні показники отримано за поєднання мінеральних добрив із соломою та сидератом або гноєм.

Винос фосфору з урожаєм збільшувався зі зростанням доз мінеральних добрив і додатково підвищувався за їх внесення на фоні органічної речовини.

Загалом органо-мінеральні системи забезпечували найбільший ефект, підвищуючи ефективність використання фосфору.

Таким чином, поєднання органічних і мінеральних добрив є найбільш ефективним для активізації мікробіологічних процесів мобілізації фосфору, підвищення його доступності для рослин та формування високої урожайності картоплі на чорноземі вилуженому.

УДК 633.11:504(477.53)

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ЗЕРНА ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ПОЛТАВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

***Шакалій С. М.**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна*

Розвитку виробництва зерна як складової зернопродуктового підкомплексу України надається першочергове значення. Це зумовлено низкою причин. По-перше, потужне зернове господарство є основою розвитку інших галузей сільського господарства. По-друге, зерно як цінний і незамінний продукт харчування виступає основним продовольчим ресурсом, а також сировиною для переробної промисловості. По-третє, виробництво зерна забезпечує значну частину доходів сільськогосподарських підприємств і формує вагомий експортний потенціал України [1].

Останнім часом увага українських учених концентрується на екологізації сільськогосподарського виробництва, тобто зменшенні відсотка застосування пестицидів та мінеральних добрив, більш економічному використанні сільськогосподарської техніки [2]

Екологічна безпека зернової продукції повинна бути пріоритетом на всіх стадіях трофічного ланцюга. Основою її забезпечення є систематичний контроль вмісту в зерні та продуктах його переробки залишкових кількостей пестицидів, радіонуклідів, токсичних елементів і мікотоксинів.

Агроекологічний стан зерна озимої пшениці в Полтавській області характеризується як загалом стабільний, з високою залежністю якості від погодних умов (спека, брак вологи) та агротехніки (строки сівби, добрива). Урожайність коливається в межах 4,5–7,2 т/га, а вміст шкідливих речовин та нітратів, при дотриманні технологій, зазвичай не перевищує допустимих норм.

Основні агроекологічні показники:

- Кліматичні стреси: Полтавщина потерпає від весняної спеки та нестачі вологи з червня, що потребує підбору посухостійких сортів та коригування строків сівби.
- Вологозабезпеченість: найбільша мінливість запасів продуктивної вологи спостерігається восени, що впливає на початковий розвиток, проте загалом забезпеченість відповідає потребам культури.
- Живлення та екологія: внесення мінеральних добрив (наприклад, нітроамофоски) та використання регуляторів росту покращує якість зерна. Дослідження показують, що екологічний стан зерна кращий при оптимізованих дозах азоту, не перевищуючи ГДК солей.
- Фітосанітарний стан: посіви потребують моніторингу на наявність снігової плісняви (особливо на знижених рельєфах) та захисту фунгіцидами.

• Якість продукції: оптимальні строки сівби (пізніші, біля 20-30 вересня) та правильний обробіток ґрунту (боронування, внесення добрив) забезпечують високу якість зерна.

Сорти пшениці, адаптовані до Полтавщини (рейтинг CROPSTAGE)

Для умов Лісостепу (зокрема Полтавської області) найкращі результати показують сорти, що поєднують високу морозостійкість та стійкість до весняних посух:

• Скаген (Німеччина): високоврожайний сорт, який добре витримує низькі температури та має високу натуру зерна.

• Реформ (Німеччина): один із найпопулярніших сортів у регіоні завдяки пластичності до термінів сівби та стійкості до вилягання.

• Мідні (Україна/Франція): демонструє стабільність навіть за мінімальних опадів у травні-червні.

• Аспект: ранньостиглий сорт, що дозволяє «втекти» від піку літньої спеки під час наливу зерна.

Екологічна безпека та вплив добрив - *а*гроекологічна оцінка стану зерна в області часто фокусується на мінімізації негативного впливу агрохімікатів:

• оптимізація азоту - надмірне внесення азотних добрив (понад 150-180 кг д.р./га) може призвести до накопичення нітратів. На Полтавщині впроваджують дрібне внесення (3-4 рази за сезон), що дозволяє рослині засвоїти максимум азоту, не забруднюючи ґрунтові води.

• сірка як «екологічний ключ» - без достатньої кількості сірки (S) азот не перетворюється на білок. Внесення сірчаних добрив покращує амінокислотний склад зерна та знижує вміст залишків непереробленого азоту.

• рідкі добрива (КАС) – у Полтавській області спостерігається перехід на КАС, оскільки вони менше вимиваються та рівномірніше розподіляються, що зменшує екологічне навантаження на екосистему.

• мікробіологічні препарати – використання біостимуляторів дозволяє зменшити норми мінеральних добрив на 10-15% без втрати врожайності.

Ведення інтенсивного сільськогосподарського виробництва за сучасних аграрних технологій неможливе без застосування добрив [1]. Інтенсивні технології вирощування зернових культур являють собою систему агротехнічних заходів, що забезпечують максимально можливу реалізацію генетичного потенціалу сортів сільськогосподарських рослин за рахунок використання сучасних досягнень селекції, землеробства, хімізації та механізації виробничих процесів.

Водночас у сучасних умовах спостерігаються істотні відхилення від дотримання основних складових інтенсивних технологій. Зокрема, відмічається тенденція до зростання обсягів застосування пестицидів і мінеральних добрив, що зумовлено обмеженим набором культур у сівозмінах та порушенням науково обґрунтованого їх чергування [1].

Разом із тим, хімізація сільського господарства супроводжується процесами забруднення навколишнього природного середовища речовинами, небезпечними для життєдіяльності живих організмів, включаючи людину.

Стан зерна в області вважається високоякісним (переважно 2-3 клас), але потребує уваги до балансу мікроелементів (особливо бору та цинку) у фазі кущіння.

Література

1. Яковець Л. А. Екологічна небезпека застосування найпоширеніших мінеральних добрив. Техніко-технологічні аспекти розвитку та 198 випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке, 2017. № 21 (35). С. 298–301

2. Шакалій С. М., Стогній О. В. Агроекологічні особливості сортів ячменю ярого залежно від використання біопрепаратів. VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Хімія, біотехнологія, екологія та освіта». 17-18.05.2023 р. С. 340-343 https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/15052

УДК 581.55:57.055 (292.486)(1-17)(477)

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ АГРОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Чабан В. І., *к. с.-г. н.,* ***Подобед О. Ю.***, *к. с-г. н.*
Державна установа Інститут зернових культур НААН,
м. Дніпро, Україна

Стійкість агроценозу визначається якісним станом ґрунтового покриву. На фоні надто високої розораності чорноземів (80 %) суттєво скоротилось застосування органічних і мінеральних добрив (0,4 т/га і 50–70 кг/га д. р.). Поширено монокультури соняшника, кукурудзи, ріпаку. Інтенсивне використання ґрунтового покриву за низького компенсаторного речовинно-енергетичного механізму сприяє активізації деградаційних процесів в ґрунтах. В свою чергу, і аридизація клімату змінює режими ґрунту та фізіологічні процеси в рослинах. Все це суттєво обмежує потенціал агроценозу. Тому, відновлення довкілля залишається важливим питанням та визначає актуальність досліджень. Мета роботи – оцінити фактори формування екологічної стійкість агроценозу в умовах Північного Степу України.

Дослідження проводили в стаціонарному досліді ДУ ІЗК НААН на Розівській дослідній станції (атестат № 044 реєстру довгострокових польових дослідів України). Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний малогумусний легкоглинистий. Вміст гумусу 4,6–4,8 %. Реакція ґрунтового розчину нейтральна. Забезпеченість ґрунту азотом нітратів – середня; фосфором і калієм (за Чириковим) – підвищена і висока. Дослід закладено у 1991 році. З 2020 року почалась V ротація зерно-трав'яної сівозміни (еспарцет на 1 укіс, пшениця озима, соняшник, кукурудза на зерно, горох, пшениця озима, ячмінь ярий з підсівом трав). Схема досліду передбачає два способи основного обробітку ґрунту: полицевий (оранка, (20–28 см); безполицевий (чизелювання, 20–30 см). На їх фоні вивчали системи удобрення: контроль (без добрив); органічна (гній, 11,4 т/га); органо-мінеральна (гній, 5,7 т/га + $N_{24}P_{29}K_{21}$); мінеральна ($N_{51}P_{46}K_{36}$). Відбір зразків, аналізи та оцінку якісного стану ґрунту проводили за чинними ДСТУ.

Встановлено загальну закономірність змін показників родючості чорнозему звичайного під впливом тривалого аерогенного навантаження. За отриманими даними, фізико-хімічні властивості залишились сприятливими для вирощування польових культур ($pH_{вод.}$ ґрунтового розчину 7,07–7,42).

По закінченню IV ротації, вміст гумусу (0–20 см) на ділянках контролю становив 4,79 і 4,85 % на фоні полицевого та безполицевого обробітків ґрунту і різниця була не достовірною. Оцінюючи вплив систем удобрень на органічну складову ґрунту, зазначимо, що тільки на варіантах внесення гною встановлено стійке підвищення вмісту гумусу на 0,18–0,15 %. По органо-мінеральній – проявлялась тільки тенденція підвищення (на 0,10–0,04 %). При застосуванні мінеральних добрив вміст гумусу (4,75–4,87 %) знаходився на рівні контролю. Порівняння вмісту органічної речовини у ґрунті з вихідним (4,83 %), дозволяє констатувати, що переважання у структурі посівів стерньових культур (трави,

пшениця, ячмінь, горох) над просапними (кукурудза, соняшник) з співвідношенням, як 71:29 %, було ефективним для стабілізації гумусового стану. На варіанті органічної системи удобрення спостерігалась стійка тенденція підвищення вмісту гумусу навіть відносно вихідного значення (на 0,14 і 0,17 %) по обом обробіткам.

Важливим критерієм якісного стану ґрунтів є і забезпеченість рухомими формами елементів живлення. Формування їх запасів у ґрунті значною мірою визначається системою удобрення, яка є основним регулятором поживного режиму. Так, під впливом технологічних заходів вміст азоту нітратів (0–20 см) на варіантах систем удобрення підвищувався на 13–21 % порівняно з 6,1 і 6,3 мг/кг на контролі. Дисперсійний аналіз показав статистично достовірну (за 5 % рівнем значущості), дію добрив на вміст нітратів ($F_ф$ = 24,78 > $F_{кр.}$ = 9,28 p = 0,0128). Обробіток ґрунту не мав впливу ($F_ф$ = 9,02 < $F_{кр.}$ = 10,13 p = 0,058).

Формування запасів рухомого фосфору у ґрунті відбувалося за рахунок багаторічного внесення органічних і мінеральних добрив, що статистично достовірно сприяло підвищенню його забезпеченості ($F_ф$ = 41,40 > $F_{кр.}$ = 9,28, p = 0,006). На удобрених варіантах вміст P_2O_5 відповідав високому рівню (172–195 мг/кг). На його рухомість більший вплив мали органо-мінеральна і мінеральна системи удобрення (30– рухомих форм фосфору збільшився на 35–66 мг/кг.

Вміст доступного рослинам калію на контролі відповідав високому рівню (134–136 мг/кг). За впливом на рухомість K_2O, серед систем удобрення, переважала органічна (173–183 мг/кг, або 29–35 %). Дія добрив на вміст елементу у ґрунті статистично достовірна ($F_{ф.}$ = 47,88 > $F_{кр.}$ = 9,28, p = 0,0049).

Оцінюючи параметри продуктивності агроценозу зазначимо, що сумарний збір зернових одиниць на неудобрених ділянках зерно-трав'яної сівозміни становив 31,5 т. Органічна система удобрення сприяла збільшенню виходу зернових одиниць до 34,96 т, органо-мінеральна – до 38,01 т, мінеральна – до 39,77 т. В цілому, при виході зернових одиниць з 1 га сівозмінної площі в межах 4,50 т/га дія і післядія гною у сівозміні значно поступалася варіантам з мінеральними добривами – прибавка зерна становив 0,49 т/га, або 11 %. По мінеральній та органо-мінеральній системам удобрення додатково отримано фоном.

Таким чином, наявність в структурі посівів трав та переважання культур суцільної сівби дозволяє підтримувати гумусний стан ґрунту на вихідному рівні. За органічної системи удобрення проявлялась стійка тенденція підвищення вмісту гумусу відносно вихідного, перед закладанням досліду. Систематичне застосування добрив підвищує рухомість елементів живлення у ґрунті, забезпечуючи підґрунтя сталого функціонування агроценозу.

УДК 631.95:633.15:631.52

БІОФОРТИФІКАЦІЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ β-КАРОТИНОМ ЯК СКЛАДОВА «ЗЕЛЕНИХ» АГРОБІОТЕХНОЛОГІЙ

***Денисюк К. В.**, кандидат біологічних наук, Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України, м. Дніпро, Україна*

У сучасних умовах глобальних кліматичних змін, виснаження природних ресурсів і зростання чисельності населення особливої актуальності набуває впровадження «зелених» підходів у аграрному виробництві, зокрема на основі сучасних агробіотехнологій. Вони передбачають екологізацію технологій, раціональне використання ресурсів, підвищення біологічної цінності продукції та зменшення негативного впливу на довкілля. У цьому контексті важливого значення набуває біофортифікація зерна сільськогосподарських культур як ефективний і екологічно безпечний спосіб поліпшення якості харчових продуктів.

Серед біологічно активних сполук рослинного походження важливе місце займають каротиноїди, зокрема β-каротин, який у процесі метаболізму в організмі людини і тварин здатний перетворюватися на дві молекули вітаміну А, що зумовлює його високу біологічну цінність.

Каротиноїди є природними пігментами ізопренової природи, які виконують у рослинах низку ключових функцій: беруть участь у фотосинтезі, забезпечують антиоксидантний захист клітин (Uarrota et al., 2018, https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_10), відіграють важливу роль у формуванні стійкості рослин до абіотичних стресів, таких як посуха, високі температури та інтенсивне світлове навантаження (Demmig-Adams et al., 2025, https://doi.org/10.3390/plants14172703). Для людини вони є незамінними компонентами харчування, оскільки сприяють нормальному функціонуванню імунної, травної систем та органів зору, а також знижують ризик розвитку хронічних захворювань тощо (Pao et al., 2007, https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012).

Біофортифікація зерна кукурудзи β-каротином розглядається як один із пріоритетних напрямів підвищення харчової цінності цієї культури. Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з провідних зернових культур у світі, що широко використовується у харчуванні людини та тварин. Збагачення її зерна провітаміном А має значний потенціал для покращення харчового статусу населення, особливо в регіонах із обмеженим доступом до різноманітних джерел поживних речовин (Mudadirwa et al., 2023, https://doi.org/10.1079/cabireviews.2023.0041, Baudron et al., 2024, https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2024.04.009).

Генетичні основи накопичення β-каротину в зерні кукурудзи пов’язані з функціонуванням ключових генів біосинтезу каротиноїдів, зокрема лікопін-ε-циклази і β-каротингідроксилази 1 (Singh et al., 2021, https://doi.org/10.1038/s41598-021-92010-8). Наявність сприятливих алельних варіантів цих генів забезпечує підвищений рівень

накопичення провітаміну А. Використання таких генотипів у селекційному процесі є основою створення біофортифікованих форм кукурудзи.

Сучасні біотехнологічні підходи, зокрема маркер-асоційована селекція, геномне редагування та метод гаплоїдії, дозволяють значно підвищити ефективність селекційного процесу у кукурудзи та скоротити терміни створення нових генотипів із заданими характеристиками (Bhowmik et al., 2021, https://doi.org/10.3390/genes12091410), зокрема з підвищеним вмістом β-каротину у зерні. Це відповідає принципам «зелених» агробіотехнологій, оскільки сприяє зменшенню використання ресурсів, мінімізації хімічного навантаження та підвищенню екологічної безпечності виробництва.

Разом з тим, важливим аспектом є стабільність рівня β-каротину в зерні кукурудзи в процесі післязбиральної доробки та зберігання. Відомо, що каротиноїди є чутливими до дії світла, температури та кисню, що може призводити до їх деградації (Trono, 2019, https://doi.org/10.3390/plants8120551). У зв'язку з цим актуальними є розробка та впровадження екологічно безпечних технологій зберігання, спрямованих на мінімізацію втрат біологічно активних речовин.

Перспективним напрямом «зелених» агробіотехнологій є комплексне та раціональне використання сировини кукурудзи, включаючи побічні продукти її переробки, як додаткового джерела каротиноїдів. Побічні продукти, що утворюються під час виробництва кукурудзяних борошна, олії, крохмалю та біоетанолу (зародок, оболонки, висівки, жмих, глютенові та ферментаційні залишки), є потенційним джерелом каротиноїдів, зокрема β-каротину, і можуть ефективно залучатися до повторної переробки (Jiao, et al., 2022, https://doi.org/10.3390/foods11223709). Традиційно ці компоненти використовуються обмежено або мають низьку додану вартість, проте сучасні підходи передбачають їх глибшу переробку з метою виділення та подальшого використання цінних речовин (Deepak et al., 2022, https://doi.org/10.17113/ftb.60.01.22.7340). Виділені каротиноїди можуть застосовуватися як натуральні антиоксиданти та барвники у харчовій промисловості, як функціональні інгредієнти у складі збагачених продуктів, а також у фармацевтичній і косметичній галузях. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність використання рослинної сировини та зменшити залежність від синтетичних аналогів біологічно активних речовин. Комплексне використання кукурудзяної сировини відповідає принципам циркулярної економіки, що передбачає мінімізацію відходів та повторне залучення ресурсів у виробничі цикли. Це сприяє підвищенню ресурсоефективності та екологічності агропродовольчих систем.

Отже, біофортифікація зерна кукурудзи β-каротином є важливою складовою «зелених» агробіотехнологій. Вона поєднує підвищення харчової цінності продукції, покращення здоров'я населення та зниження екологічного навантаження на довкілля. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення генетичних і технологічних підходів до підвищення вмісту, стабільності та біодоступності каротиноїдів.

УДК 631.51:632.51

СВІТОВІ ІННОВАЦІЇ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ У СУЧАСНОМУ ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

***Савченко І. Ф.**, к. т. н., **Рихлівський П. А.**, к. т. н.,*
***Коновал О. О.**, науковий співробітник, **Бражевський В. В.**, аспірант*
Інституту механіки і автоматики агропромислового виробництва НААН,
с-ще Глеваха, Україна

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується зростанням вимог до екологічної безпеки, енергоефективності та якості продукції. У цих умовах особливого значення набуває зниження використання хімічних засобів захисту рослин і перехід до альтернативних методів контролю бур'янів. Особливо це актуально для органічного землеробства, де застосування гербіцидів є обмеженим або повністю забороненим. У зв'язку з цим активно розвиваються механічні, фізичні та комбіновані способи боротьби з бур'янами, які забезпечують ефективний контроль без негативного впливу на агроекосистему [1].

Механічні методи знищення бур'янів залишаються основою систем екологічно орієнтованого землеробства. Їх роль полягає не лише у безпосередньому видаленні бур'янів, але й у регулюванні агрофізичних властивостей ґрунту, покращенні водно-повітряного режиму та активізації біологічних процесів. Сучасний етап розвитку механічних технологій характеризується впровадженням автоматизованих систем керування, машинного зору та роботизованих платформ.

Одним із найбільш відомих прикладів є агроробот BoniRob, який використовує камери високої роздільної здатності та алгоритми штучного інтелекту для ідентифікації бур'янів за морфологічними ознаками [2]. Після розпізнавання бур'ян знищується шляхом точкового механічного удару. Такий підхід дозволяє обробляти посіви з високою щільністю стояння культурних рослин і значно зменшувати потребу в ручній праці.

Важливим напрямом є розвиток конструкцій міжрядних культиваторів із системами відеонаведення. Зокрема, технології Garford Robocrop забезпечують автоматичне визначення рядків культур і синхронізацію руху робочих органів із положенням рослин [3]. Це дозволяє здійснювати обробіток із високою точністю, мінімізуючи пошкодження культур і підвищуючи ефективність знищення бур'янів навіть у складних умовах.

Особливе місце серед механічних засобів займають внутрішньорядні робочі органи – еластичні пальчикові зірчасті диски. Дослідження, що проводяться в ІМА АПВ НААН, спільно з компанією «IQ Composite», підтверджують їх високу ефективність у фазі ранніх сходів бур'янів. Принцип їх роботи полягає у розпушуванні верхнього шару ґрунту та механічному руйнуванні слабко укорінених бур'янів. Культурні рослини, що мають більш розвинену кореневу систему, залишаються неушкодженими. Використання таких робочих органів дозволяє значно зменшити кількість проходів агрегатів і підвищити економічну ефективність технології.

Значного розвитку набули фізичні методи контролю бур'янів. До них належать термічні, електричні та гідродинамічні технології, які базуються на фізичному впливі на рослинні тканини. Термічні методи передбачають нагрівання бур'янів до температур, при яких відбувається денатурація білків, руйнування клітинних мембран і припинення життєдіяльності рослин.

Одним із найбільш поширених термічних методів є вогнева культивація. Її особливістю є короткочасний вплив полум'я, який не призводить до повного згоряння рослин, а викликає руйнування клітинної структури. В Україні на базі підприємства ТОВ «АЗТЕХ УКРАЇНА» розроблено та впроваджено за участі ІМА АПВ НААН вогневі культиватори для довсходового та міжрядного обробітку овочевих і просапних культур. Такі агрегати дозволяють ефективно контролювати однорічні бур'яни, зменшувати зараження хворобами та знижувати потребу в хімічних засобах захисту.

До термічних методів також належать технології обробки гарячою водою та водяною парою. Водяна пара забезпечує швидке нагрівання надземної частини бур'янів, тоді як гаряча вода здатна проникати в ґрунт і впливати на кореневу систему. Це робить її більш ефективною для боротьби з багаторічними бур'янами. Водночас такі методи характеризуються значними енергетичними витратами, що обмежує їх широке застосування.

Електричні методи боротьби з бур'янами базуються на проходженні струму через рослину від надземної частини до кореня. Сучасні системи, такі як XPower, забезпечують подачу високовольтного імпульсу безпосередньо на бур'ян, що призводить до руйнування його тканин [4]. Перевагою цього методу є можливість ефективного знищення багаторічних і коренепаросткових бур'янів без механічного порушення ґрунту.

Окремим напрямом є комбіновані тепломеханічні технології, що поєднують механічне розпушування ґрунту з локальним тепловим впливом на бур'яни. Використання таких систем дозволяє підвищити ефективність знищення бур'янів і зменшити кількість технологічних операцій.

Перспективним напрямом розвитку є лазерні технології знищення бур'янів. Вони базуються на застосуванні сфокусованого лазерного променя, який забезпечує локальне нагрівання тканин рослин до критичних температур із їх миттєвим руйнуванням. Поєднання лазерних установок із системами комп'ютерного зору дозволяє автоматично ідентифікувати бур'яни та здійснювати їх селективне знищення у режимі реального часу [5]. Перевагами лазерних технологій є висока точність, відсутність механічного контакту з ґрунтом і можливість інтеграції в роботизовані системи.

Таким чином, сучасні інновації у сфері боротьби з бур'янами спрямовані на інтеграцію механічних, фізичних та цифрових технологій. Перехід до точкових методів впливу, використання робототехніки та штучного інтелекту створюють передумови для формування високоефективних і екологічно безпечних систем землеробства майбутнього.

Важливим напрямом підвищення ефективності механізованого контролю бур'янів є інтеграція різних типів робочих органів у складі одного агрегату. Поєднання

міжрядного обробітку з внутрішньорядними робочими органами, такими як пальчикові диски, ротаційні зірочки або прополювальні борони, дозволяє забезпечити комплексний вплив на бур'яни у всіх зонах посіву. Такий підхід особливо ефективний у технологіях вирощування овочевих і просапних культур, де важливим є мінімальне пошкодження культурних рослин при високій якості обробітку.

Додатковим резервом підвищення ефективності є використання систем автоматичного керування та навігації, зокрема GPS та машинного зору. Це дозволяє зменшити перекриття під час обробітку, підвищити точність ведення агрегатів та знизити навантаження на оператора. В умовах сучасного виробництва такі системи стають невід'ємною складовою технологій точного землеробства.

Слід також відзначити перспективність використання автономних роботизованих платформ для боротьби з бур'янами. Такі машини можуть працювати у полі без постійної участі оператора, виконуючи селективне знищення бур'янів у міжряддях і рядках культур. Використання штучного інтелекту для аналізу стану посівів дозволяє адаптувати режими роботи агрегатів до конкретних умов поля, що підвищує ефективність і знижує енергетичні витрати.

Важливим аспектом є також економічна доцільність застосування інноваційних технологій. Хоча впровадження роботизованих, електричних або лазерних систем потребує значних початкових інвестицій, у довгостроковій перспективі вони дозволять зменшити витрати на ручну працю, паливо та засоби захисту рослин. Крім того, підвищується якість продукції та її конкурентоспроможність на ринку органічної продукції.

Література

1. Перспективні напрями створення і використання технічних засобів для боротьби з бур'янами в системі органічного землеробства / Адамчук В. В. [та ін.]. Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. наук. пр. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2021. Вип. 14(113). С. 66 – 76. DOI: https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-7.

2. Сільськогосподарський робот Deepfield Robotics BoniRob / URL: https://traktorist.ua/technologies/1052-silskogospodarskiy-robot-deepfield-robotics-bonirob (дата звернення: 14.04.2026).

3. Technologically advanced mechanical weed control products for inter-row and in the row hoeing in a broad range of crops / URL: https://garford.com (дата звернення: 14.04.2026).

4. Entre CNH Et Zasso, Le Courant Passe! URL: https://chaire-agromachinisme-nouvelles-technologies.unilasalle.fr/entre-cnh-et-zasso-le-courant-passe/ (дата звернення: 14.04.2026).

5. World's First commercial laserweeder implement / URL: https://carbonrobotics.com/laserweeder/ (дата звернення: 14.04.2026).

УДК 631.4:631.559:635.132

ВПЛИВ АБСОРБЕНТУ НА ЩІЛЬНІСТЬ ҐРУНТУ ТА ЯКІСТЬ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ

***Савченко І. Ф.**, к. т. н., **Присяжний В. Г.**, к.т.н., **Рихлівський П. А.**, к. т. н.,*
***Коновал О. О.**, науковий співробітник*
Інституту механіки і автоматики агропромислового виробництва НААН,
с-ще Глеваха, Україна

В умовах кліматичних змін і зростаючого дефіциту вологи сільське господарство потребує впровадження ефективних технологій, спрямованих на регулювання водного режиму ґрунту та підвищення його родючості. Одним із ключових факторів, що визначають продуктивність сільськогосподарських культур, є фізико-механічні властивості ґрунту, зокрема його щільність. Від щільності ґрунту залежить водо- і повітропроникність, доступність поживних речовин, а також розвиток кореневої системи рослин.

Щільність ґрунту є динамічним показником, який змінюється під впливом природних факторів і антропогенних навантажень, зокрема проходу машинно-тракторних агрегатів. Надмірне ущільнення призводить до погіршення аерації, обмеження росту коренів, зниження активності мікробіологічних процесів і, як наслідок, зменшення врожайності [1, 2].

Особливо чутливими до ущільнення є коренеплідні культури, зокрема морква. Ущільнений ґрунт створює механічні перешкоди для росту коренеплодів, що призводить до їх деформації (розгалуження, викривлення), зниження товарної якості та погіршення біохімічних показників. Крім того, в ущільненому ґрунті погіршується водний режим і доступ кисню до коренів, що негативно впливає на розвиток рослин.

Одним із перспективних напрямів покращення водно-фізичних властивостей ґрунту є використання суперабсорбентів. Сучасні біорозкладні абсорбенти на основі целюлози здатні поглинати воду в кількості, що у сотні разів перевищує їх власну масу, і поступово віддавати її рослинам у процесі вегетації [3]. Це дозволяє стабілізувати водний режим ґрунту, зменшити стрес рослин у періоди посухи та підвищити ефективність використання вологи.

Крім того, суперабсорбенти здатні акумулювати не лише воду, а й розчинені поживні речовини, що сприяє їх більш раціональному використанню рослинами. Важливою перевагою є також здатність запобігати негативним наслідкам надмірного зволоження, оскільки вони можуть вбирати надлишок води та поступово її віддавати [4].

У Інституті механіки і автоматики агропромислового виробництва НААН проведено експериментальні дослідження впливу абсорбенту на твердість ґрунту та якість коренеплодів моркви. Дослідження виконували на чорноземі опідзоленому.

Абсорбент вносили після осіннього обробітку ґрунту в зону майбутніх рядків на глибину 8–10 см через один рядок, залишаючи контрольні варіанти без внесення.

Навесні перед сівбою визначали твердість ґрунту в шарі 0–10 см за допомогою твердоміра Голубєва. Встановлено, що у варіантах із внесенням абсорбенту твердість ґрунту становила 1–2 кг/см², тоді як на контролі – 3–4 кг/см². Таким чином, застосування абсорбенту забезпечило суттєве зниження ущільнення ґрунту у початковий період вегетації.

Сівбу моркви проводили з рівномірним розміщенням насіння (крок 4,5 см) із використанням спеціального пристосування, що забезпечувало однакову глибину загортання (3–4 см). Це дозволило мінімізувати вплив факторів нерівномірності сівби на результати дослідження.

У початковий період вегетації у варіантах без абсорбенту спостерігалося формування значної кількості деформованих коренеплодів (пальчастих, мичкуватих), що пов’язано з підвищеною твердістю ґрунту. У варіантах із внесенням абсорбенту кількість таких коренеплодів була приблизно вдвічі меншою, що свідчить про покращення умов для росту кореневої системи.

Упродовж вегетації за рахунок атмосферних опадів відбулося вирівнювання твердості ґрунту в усіх варіантах, і на момент збирання вона становила 1–2 кг/см². Проте саме початковий період розвитку рослин є критичним для формування морфології коренеплодів, що й обумовило отримані відмінності між варіантами.

Отже, результати досліджень свідчать, що застосування абсорбенту позитивно впливає на фізичні властивості ґрунту, знижує його твердість у зоні розміщення коренів та сприяє формуванню більш якісних коренеплодів моркви. Використання таких матеріалів є перспективним напрямом підвищення ефективності овочівництва, особливо в умовах нестійкого зволоження. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію норми та глибини внесення абсорбентів та оцінку їх впливу на врожайність і економічну ефективність.

Література

1. Глевахівський І. В. Буряківництво: навч. посібник. Київ: Вища школа, 1991. 320 с.

2. Кліщенко С. Сучасні тенденції в системах та технологіях основного обробітку ґрунту. Механізація сільського господарства. 2011. № 5. С. 36–45.

3. Sannino A., Demitri C., Madaghiele M. Biodegradable cellulose-based hydrogels: Design and applications. Materials. 2009. Vol. 2(2). P. 353–373.

4. Montesano F. et al. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. Agricultural and Agricultural Science Procedia. 2015. Vol. 4. P. 451–458.

УДК 664.8:631.563:546.17

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИМОЧУВАННЯ ОВОЧІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НІТРАТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

***Лісняк А.А.**, канд. с.-г. наук, доцент, **Обченко М.О.**, здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 201 «Агрономія»*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
м. Харків, Україна

Проблема накопичення нітратів у овочевій продукції залишається актуальною в умовах інтенсивного агровиробництва, особливо при вирощуванні культур у закритому ґрунті. Надлишковий вміст нітратів у продуктах харчування може негативно впливати на здоров’я людини, оскільки в організмі вони здатні відновлюватися до нітритів та утворювати нітрозаміни - сполуки з потенційною токсичною та канцерогенною дією [1-3].

У зв’язку з цим важливим є не лише контроль рівня нітратів на етапі виробництва, а й дослідження простих технологічних методів їх зменшення перед споживанням. Одним із доступних і практично значущих методів є вимочування овочів у воді, що базується на високій розчинності нітратів [4-6].

Практичне експериментальне підтвердження ефективності цього методу з використанням статистичної обробки результатів дозволяє обґрунтувати рекомендації щодо зниження нітратного навантаження у харчовому раціоні населення.

Метою дослідження є експериментальна оцінка ефективності вимочування овочів у воді як простого технологічного способу зниження вмісту нітратів у продукції рослинництва, а також статистичне обґрунтування отриманих результатів.

Об’єкт дослідження - овочева продукція, що реалізується у торговельній мережі та використовується в харчуванні населення.

Предмет дослідження - процес зміни вмісту нітратів в овочах під впливом вимочування у воді, а також кількісні закономірності зниження їх концентрації залежно від тривалості обробки.

У якості об’єкта дослідження використано овочеву продукцію, придбану у торговельній мережі м. Харкова:

- огірки (закритого ґрунту);
- томати (закритого ґрунту);
- морква;
- картопля.

Дані культури обрано як найбільш поширені у раціоні населення та потенційно чутливі до накопичення нітратів.

Експериментальна частина дослідження передбачала три варіанти:

1) Контроль - без будь-якої попередньої обробки (свіжі зразки);
2) Варіант 1 - вимочування у чистій воді протягом 60 хвилин;
3) Варіант 2 - вимочування у чистій воді протягом 300 хвилин.

Умови проведення досліду передбачали використання води температурою 20–22 °C, що забезпечувало наближені до побутових умов параметри вимочування та мінімізувало вплив температурного фактора на міграцію нітратів із рослинної тканини у водне середовище; співвідношення маси зразку до об'єму води відповідало стандартному лабораторному підходу з використанням надлишку води для повного занурення овочевої продукції з метою забезпечення рівномірного дифузійного процесу; тривалість вимочування становила 60 та 300 хвилин як порівняльні часові інтервали для оцінки динаміки зниження концентрації нітратів; усереднення результатів виконувалося на основі трьох вимірювань для кожного зразка з подальшим розрахунком середніх значень та показників варіації (SD - стандартне відхилення, t - t-критерій Стьюдента, p - рівень значущості).

Визначення концентрації нітратів у зразках овочів здійснювали іонселективним експрес-методом із використанням портативного нітрат-тестера Greentest 9 F3. Метод базується на вимірюванні електрохімічного сигналу, пропорційного концентрації нітрат-іонів у рослинній тканині, що забезпечує оперативність та достатню точність для експрес-аналізу.

Результати експериментального дослідження свідчать, що вимочування овочів у воді є ефективним технологічним прийомом зниження вмісту нітратів у продукції рослинництва, причому ступінь ефективності залежить від тривалості обробки та біологічних особливостей культури. Отримані дані наведено в таблиці 1, що дозволяє оцінити зміну концентрації нітратів у контрольному та дослідних варіантах і провести статистичне порівняння результатів.

Таблиця 1

Вміст нітратів в овочах залежно від тривалості вимочування та показники варіації (M ± m, мг/кг)

Овочі	Контроль	60 хвилин	300 хвилин	SD	t	p
Огірки	380 ± 6,7	310 ± 5,8	260 ± 5,3	11,5	9,21	<0.01
Томати	320 ± 5,5	270 ± 4,9	230 ± 4,2	9,8	8,34	<0.01
Морква	90 ± 2,9	70 ± 2,4	60 ± 2,1	4,7	7,12	<0.01
Картопля	150 ± 3,6	120 ± 3,2	100 ± 2,8	6,4	8,87	<0.01

Як видно з таблиці 1, у всіх досліджуваних культурах спостерігається закономірне зниження вмісту нітратів після вимочування, причому найбільш виражений ефект фіксується при 300-хвилинній обробці. Статистичний аналіз показав, що різниця між контрольними та дослідними варіантами є достовірною ($p < 0,01$), що підтверджує не випадковий характер змін. Статистична обробка результатів із використанням t-критерію Стьюдента підтвердила достовірність

різниці між контрольними та дослідними варіантами при рівні значущості $p < 0,01$. Значення стандартного відхилення (4,7–11,5 мг/кг) свідчать про достатню відтворюваність експерименту та стабільність отриманих результатів.

Для узагальненої оцінки ефективності методу було розраховано абсолютне та відносне зниження концентрації нітратів, результати якого наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Максимальне зниження вмісту нітратів у результаті вимочування (відносно контролю)

Овочі	Контроль, мг/кг	300 хвилин, мг/кг	Зниження, мг/кг	Зниження, %
Огірки	380	260	120	31,6
Томати	320	230	90	28,1
Морква	90	60	30	33,3
Картопля	150	100	50	33,3

Аналіз даних таблиці 2 показує, що вимочування протягом 300 хвилин забезпечує зниження вмісту нітратів у межах 28,1–33,3 %, що свідчить про достатньо високу ефективність методу. Найбільше відносне зниження спостерігається у моркви та картоплі (33,3 %), тоді як огірки та томати характеризуються дещо нижчим, але стабільним рівнем зменшення концентрації нітратів.

Отримані дані узгоджуються з фізико-хімічними властивостями нітратів, зокрема їх високою розчинністю у воді, що забезпечує їх часткову екстракцію з рослинної тканини під час вимочування. Встановлено, що збільшення тривалості контакту овочів із водою прямо пропорційно підвищує ефективність вилучення нітратів, що має чітко виражений дифузійний характер процесу [7-8].

Висновки. На основі проведених досліджень встановлено доцільність вимочування овочів як простого та доступного методу зниження нітратного навантаження у харчовій продукції. Найбільш ефективною серед досліджених варіантів є тривалість обробки 300 хвилин, яка забезпечує значне зниження концентрації нітратів без погіршення споживчих властивостей продукції. Для підвищення ефективності методу рекомендується також попереднє нарізання овочів, використання достатнього об’єму води та періодична її заміна при тривалому вимочуванні. Найбільш ефективним метод є для огірків, томатів, моркви та картоплі, які широко використовуються у щоденному раціоні населення.

Література

1. Бойко Л. О. Сучасні тенденції розвитку овочевої галузі в умовах євроінтеграції України // Агросвіт. 2020. № 6. С. 69–76.

2. European Food Safety Authority (EFSA). Nitrate in vegetables – scientific opinion. EFSA Journal. 2008. Vol. 689. P. 1–79.

3. Циганенко О. І. Нітрати в харчових продуктах. Київ : Здоров’я, 2005. 141–148 с.

4. Панасенко Т. В., Краснорyцька К. І. Вміст нітрат-іонів у продуктах харчування рослинного походження // Актуальні питання біології, екології та хімії. 2016. Т. 12, № 2. С. 103–112.

5. Домарецький В. А. Екологія харчової сировини і продуктів харчування: навч. посіб. Київ : НУХТ, 1994. 343 с.

6. Смоляр В. І., Циганенко О. І., Петрашенко Г. І. Нітрати, нітрити та нітрозаміни у харчових продуктах і раціонах. Київ : Здоров’я, 2007. 141–148 с.

7. Харитонов М. М., Лазарєва О. М., Лемішко С. М. Екологічна оцінка варіабельності вмісту нітратів у овочевих та плодово-ягідних культурах // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2015. № 3. С. 29–31.

8. World Health Organization (WHO). Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva : WHO, 2011.

УДК 633.854.78:631.527:631.811.98

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТУ ТА МІКРОДОБРИВАМИ НА ФОРМУВАННЯ ПЛОЩІ ЛИСТЯ БАТЬКІВСЬКИХ ФОРМ СОНЯШНИКУ

***Білокобильська А.І., Огурцов Ю.Є.**, канд. с.-г. наук*
Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, м. Харків, Україна

Площа листкової поверхні є одним із ключових чинників, що визначають продуктивність рослин соняшнику, оскільки безпосередньо впливає на інтенсивність фотосинтезу та формування енергетичних ресурсів. Збільшення листкової поверхні сприяє підвищенню швидкості фотосинтетичних процесів, що, у свою чергу, забезпечує оптимальні умови для росту й розвитку рослин [1–3].

Результати досліджень свідчать, що оптимальне поєднання помірної величини листкової поверхні з її тривалішим функціонуванням є важливим фактором формування високої врожайності насіння та вмісту олії [4, 5]. Площа листкової поверхні також широко використовується як індикатор адаптивності рослин до стресових умов. Дослідження показали, що дикорослі біотипи соняшнику характеризуються меншою редукцією листкової поверхні під впливом стресових факторів порівняно з культурними формами, що свідчить про їх вищу стійкість [6, 7].

Метою нашого дослідження було визначення особливостей формування фотосинтетичної поверхні батьківських форм соняшника залежно від варіантів передпосівної обробки насіння регуляторами росту та мікродобривами, а також оцінити їх вплив на рівень урожайності.

Експериментальні дослідження проводили на базі Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН. Польові досліди виконували протягом 2022–2024 рр. на типових середньогумусних слабовилужених чорноземах. Сівбу здійснювали у першій декаді травня за допомогою сівалки «Клен-2,8» із нормою висіву 60 тис. насінин на гектар. Об'єктами досліджень були батьківські форми соняшнику – Сх808А, Сх51А та Сх17А. Варіант контролю (Еталон) передбачав використання суміші протруйників насіння Баріон та Екзор у концентрації 3,0 + 6,0 л/т. У якості регуляторів росту та мікродобрив для обробки насіння соняшника були використані препарати: Авангард Старт – 2,0 л/т; Авангард Гроу Аміно – 1,0 л/т; Нертус Старт – 0,8 л/т; Нертус Плантапег – 0,6 л/т; Puro tech seeds – 1,5 л/т; АКМ 0,2 л/т та Райкат Старт – 2,5 л/т.

За результатами проведеного нами польового та статистичного аналізу встановлено, що рівень фотосинтетичної поверхні істотно варіював, як між досліджуваними лініями, так і залежно від варіанту обробки насіння соняшника. У контрольному варіанті, який слугував еталоном (протруєння Баріон + Екзор) значення показника становили 15,8 ±0,33 тис. м²/га для лінії Сх17А, 12,6 ±4,13 тис. м²/га для Сх51А та 19,2 ±0,69 тис. м²/га для Сх808А, відповідно у середньому за

роки дослідження, що свідчить про початкові генотипові відмінності у формуванні фотосинтетичної поверхні досліджуваних батьківських форм соняшника.

Застосування додаткових стимуляторів росту та мікродобрив при обробці насіння у більшості випадків сприяло збільшенню площі листкової поверхні. Найбільш виражений ефект спостерігався у варіантах із препаратами лінійки Нертус та Райкат. Найбільший ефект впливу обробки насіння встановлено у варіанті Еталон + Нертус Плантапег – 19,2 тис. м²/га у середньому по варіанту та Еталон + Райкат Старт – 19,1 тис. м²/га у середньому по варіанту, що перевищує контроль на 3,2–3,3 тис. м²/га . Також високі показники отримано при застосуванні Еталон + Нертус Старт – 19,0 тис. м²/га у середньому по варіанту відповідно.

Водночас комбіновані обробки, наприклад: Авангард Старт + Авангард Гроу Аміно або Нертус Старт + Нертус Плантапег, не завжди забезпечували максимальний ефект, що може свідчити про відсутність взаємодії між окремими компонентами або про їх часткове пригнічення.

Генотипова реакція ліній соняшника на обробку насіння була неоднаковою. Найвищі абсолютні значення фотосинтетичної поверхні формувала лінія Сх808А, у якої показники досягали 24,2 ±3,37 тис. м²/га у варіанті Еталон + Нертус Старт, що значно перевищує інші лінії. Лінія Сх17А характеризувалася середнім рівнем розвитку листкової поверхні до 20,0 ±1,68 тис. м²/га при оброці Еталон + Нертус Плантапег, тоді як Сх51А стабільно формувала найменші значення (12,6 ±4,13–14,9 ±3,93 тис. м²/га), що вказує на її генетично обмежений потенціал у формуванні фотосинтетичної поверхні.

Достовірність виявлених відмінностей підтверджується значеннями НІР, що свідчить про статистично значущий вплив як генотипу, так і варіантів обробки насіння на формування фотосинтетичної поверхні.

За результатами проведеного нами багатофакторного дисперсійного аналізу встановлено, що найбільший вплив має генотип (фактор А) на рівні 77 % (вірогідно при $F_{факт}>F_{05}$), що свідчить про визначальну роль спадкових особливостей у формуванні листкової поверхні.

Варіанти передпосівної обробки насіння (фактор С) має суттєво менший ефект впливу на рівні 3 % та є статистично вірогідним (вірогідно при $F_{факт}>F_{05}$) підтверджуючи ефективність стимуляторів росту в межах генетичного потенціалу. Вплив умов року (фактор В) за результатами аналізу був на рівні 8 % відповідно (вірогідно при $F_{факт}>F_{05}$).

Взаємодії факторів мають помірну частку, але вказують на залежність ефективності обробок від генотипу та умов вирощування.

Відповідно до отриманих нами даних урожайності у середньому за роки дослідження встановлено, що всі досліджувані варіанти обробки насіння батьківських форм соняшника забезпечували підвищення урожайності порівняно з контролем (Еталон), однак рівень приросту суттєво залежав від типу препарату. Найбільш ефективним виявився варіант із застосуванням еталон + Нертус

Плантапег, 0,6 л/т на усіх досліджуваних лініях встановлено збільшення урожайності у межах від 1,07 т/га до 1,76 т/га відповідно до контрольного варіанту 0,91–1,54 т/га. Також позитивний ефект спостерігався при використанні обробки насіння у комбінації еталон + АКМ, 0,2 л/т на всіх лініях у межах 1,04–1,75 т/га відповідно.

У результаті проведеного нами регресійного аналізу встановлено кількісну залежність між площею листкової поверхні та врожайністю соняшника. Оцінка параметрів моделі свідчить про наявність позитивного лінійного зв'язку між досліджуваними ознаками. Коефіцієнт регресії (0,055) показує, що збільшення площі листкової поверхні на 1 тис. м²/га супроводжується зростанням урожайності в середньому на 0,055 т/га.

Тіснота зв'язку між змінними підтверджується високим значенням коефіцієнта кореляції (r = 0,920), що свідчить про сильний прямий кореляційний зв'язок. Коефіцієнт детермінації (R^2 = 0,846) вказує на те, що 84,6% варіації врожайності пояснюється варіацією площі листкової поверхні, тоді як решта 15,4% зумовлена впливом інших факторів і випадкових причин.

Література

1. Valentim S. M. S., Luz P. B. D., Moreira A. C. S., Cardoso E. L. O., Moretto G., Tomiozzo R. Thermal sum and phyllochron of cut sunflower genotypes in southwestern Mato Grosso, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*. 2025. Vol. 49. e017024. https://doi.org/10.1590/1413-7054202549017024

2. dos Santos E. R., Barros H. B., Capone A., de Castro Ferraz E., Fidelis R. R. Effects of sowing periods on sunflower cultivars in the South of the State of Tocantins. *Revista Ciência Agronômica*. 2012. Vol. 43, No. 1. P. 199. https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100025

3. Грицаєнко З. М., Карпенко В. П., Підан Л. Ф. Стан фотосинтетичної та пігментної систем соняшника за дії гербіцидів Фюзилад форте 150, Дуал голд 960 та регулятора росту рослин Радостим. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 86 (1). С. 221–228.

4. Hladni N., Škorić D., Kraljević-Balalić M. Genetic variance of sunflower yield components (Helianthus annuus L.). *Genetika-Belgrade*. 2003. Vol. 35, No. 1. P. 1–9. https://doi.org/10.2298/GENSR0301001H

5. Chuiko D. Plant growth regulator effects on sunflower parents and F1 hybrids. *Žemės ūkio mokslai*. 2021. Vol. 28, No. 2. https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v28i2.4508

6. Fernández Moroni I., Fraysse M., Presotto A. D., Cantamutto M. Á. Evaluation of Argentine wild sunflower biotypes for drought stress during reproductive stage. *Helia*. 2012. Vol. 35, No. 57. P. 29–36. https://doi.org/10.2298/hel1257029f

7. Чуйко Д. В. Продуктивність і елементи формування структури урожаю генотипів соняшнику при обробці регуляторами росту рослин. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2020. № 1–2. С. 114–127. https://doi.org/10.35550/visnykagro2020.01-02.114

УДК 582.675.5: 661.162.65/66

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ АНТИГІБЕРЕЛІНОВОГО ПРЕПРАТУ ХЛОРМЕКВАТХЛОРИДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ РОСЛИН ГІРЧИЦІ

***Поливаний С.В.**, к.б.н., доцент,*
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла коцюбинського,
м. Вінниця, Україна

Високе забруднення ґрунтів та підземних вод мінералізованою водою та токсичними речовинами призвело до пошуку – ефективних заходів пригнічення такого впливу, з одночасним збереженням високої продуктивності ґрунтів та досягнення максимальної врожайності. Тому основним завданням в раціональному природокоритуванні є пошук ефективних та безпечних технологій вирощування сільськогосподарської продукції.

На сьогодні, без внесення необхідних для живлення рослин елементів та інгібіторів росту рослин неможливе отримання високих урожаїв, забезпечення застосування передових технологій землеробства [11]. Для успішного застосування хімічних сполук як добрив, або ж ретардантів необхідно забезпечення наступних основних умов: 1) елементи живлення повинні бути у формі, доступній рослинам; 2) вміст та співвідношення елементів повинно відповідати фізіології живлення рослин; 3) дозування препаратів повинно не перевищувати нормативних значень хімічних речовин у грунті та продуктах харчування; 4) екологічна безпека препаратів має бути обумовлена їх нетоксичністю, низьким періодом напіврозпаду, відсутністю шкідливої дії на живі організми [8].

Як правило, інгібітори росту рослин, що забезпечують всі вищенаведені умови, є вузькоспеціалізованими препаратами, що показують ефективність лише на одній групі рослин. Представлені дослідження проводились з метою розширення спектру дії антигібереліновихпрепаратів у сільському господарстві.

Рослини гірчиці білої сорту Ослава обробляли в період бутонізації розчином 0,5%-го хлормекватхлориду за допомогою гідравлічниого обприскувача Mastertool, рослини контрольного варіанту обробляли водою. Дослідні ділянки закладали в господарствах Подільського регіону у 2024-2025 рр. Кількіть експерементальних ділянок кожного із дослідних варіантів 5, площа 5м^2.

Залишкову кількість ССС в насінні ріпаку та гірчиці проводили хроматографіічним методом в тонкому шарі катіоніту на пластинах «Silufol UV-254». Отримані результати досліджень оброблено статистично за критерієм Стьюдента, різниця достовірна на рівні P=0.05

Хлормекватхлорид є найпоширенішим регулятором росту рослин у сільському господарстві, який сприяє формуванню міцніших зернових культур завдяки запобіганню виляганню. Хлормекват хлорид (ССС) органічна речовина $[ClCH_2CH_2N(CH_3)_3]^+Cl$, яка використовується як інгібітор росту онієвого типу, Клас токсичності ІІІ (мало

небезпечний для людини). Препарат не накопичується, не засвоюється організмом і протязі 2 діб виводиться, такі особливості дозволяють застосування препарату в сільському господарстві.

Період напіврозпаду у грунті, в залежності від температури і вологості грунту, становить від 3 до 43 діб. Оптимальними умовами для розкладання препарату в грунті є температура 25^0С і вологість грунту біля 60%. У ґрунті препарат розпадається на холінхлорид, холін та бетаїн, які є природними продуктами метаболізму. Комахи, а також інші тварини на оброблених ділянках не гинуть, діяльність мікроорганізмів не гальмується навіть при високих дозах [1]. Хлормекватхлорид, що поглинається листям пшениці, не зазнає значного метаболізму. Це стосується і тваринного світу: хлормекватхлорид, поглинений щурами, залишається незмінним, і 98% його виводиться в інтактній (незміненій) формі протягом 46,5 годин після прийому [2]. В організмі людини хлормекватхлорид має подібну біологічну дію. В одному дослідженні хлормекватхлорид вводили перорально в дозі 1/2 допустимого добового споживання (ДДС), яке було визначено ВООЗ на рівні 0,05 мг/кг маси тіла [6]. Через 46 годин увесь хлормекватхлорид був виведений з організму в незміненому вигляді [5]. Загалом, ці дослідження свідчать про те, що хлормекватхлорид не метаболізується ні рослинами, ні ссавцями, тому він здійснює свою дію в інтактній формі.

Застосування фізіологічно активних препаратів у технологічному комплексі вирощування польових культур сприяє підвищенню продуктивності посівів при досить високих показниках економічної та енергетичної ефективності, не справляючи при цьому токсичної дії на навколишнє середовище.

Для підвищення урожайності використовують регулятори росту інгібіторного типу. З цією метою застосовують четвертинні амонієві солі також на овочевих [3, 9] і олійних [7] культурах. Зокрема, під впливом ССС в рослин льону відбувалося збільшення врожаю насіння [4, 10].

Використання антигібереліновогo препарату на рослинах гірчиці зумовило зміни у структурі врожаю: зростання кількості стручків, маси тисячі насінин і кількості насіння в стручку. Такі зміни забезпечують підвищення урожайності досліджуваних нами культур (табл 1).

Таблиця 1

Вплив ССС на продуктивність рослин гірчиці

Показники	Контроль	ССС 05%-й
Кількість стручків на одній рослині, шт.	167,37±6,79	*224,65+7,83
Кількість насінин в одному стручку, шт.	3,75±0,14	*4,25±0,13
Маса 1000 насінин, г	6,38±0,04	6,52±0,05
Урожайність, ц/га	9,4±0,30	*12,83±0,37

З врахуванням вимог екологічної безпеки при використанні регуляторів росту потрібно визначати вміст залишкових кількостей препаратів в насінні.

Результати наших досліджень свідчать, що в дослідних зразках насіння гірчиці

білої залишковий вміст ССС складав 0,023 мг/кг, Відповідно з допустимими дозами вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині (8.8.1.2.3.4.-000-2001р.) залишковий вміст хлормекватхлориду не повинен перевищувати 0,1 мг/кг, тобто насіння обробленої культур відповідає санітарним нормам.

Висновок. Представлені дослідження проводились з метою розширення спектру дії екологічно безпечних антигіберелінових препаратів у сільському господарстві. Запропоновано використання хлормекватхлориду для інгібування росту рослин гірчиці. Застосування ретарданту призводило до підвищення продуктивності культури гірчиці, ріпаку.

Література

1. Кур'ята В. Г. Ретарданти — модифікатори гормонального статусу рослин / В. Г. Кур'ята // Фізіологія рослин: про-блеми та перспективи розвитку : Ф 50 у 2т / НАН України, Ін-т фізіології рослин і генетики, Українське товариство фізіологів рослин ; голов. ред. В. В. Моргун. — К. : Логос, 2009. — С. 565—587.
2. Blinn, R. C. 1967. Plant growth regulant. Biochemical behaviour of (2-chloroethyl)-trimethylammonium chloride in wheat. J. Agr. Food Chem. 15, 984
3. Kuryata V.G., Rohach V.V., Rohach T.I., Khranovska T.V. 2016. The use of antigibberelins with different mechanisms of action on morphogenesis and production process regulation in the plant Solanum melongena (Solanaceae). Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology. 24(1), 230-233.
4. Kuryata, V. G., & Khodanitska, O. O. 2018. Features of anatomical structure, formation and functioning of leaf apparatus and productivity of linseed under chlormequatchloride treatment. Ukrainian Journal of Ecology, 8(1), 918-926.
5. Lindh C. H., Littorin M., Johannesson G., Jönsson Bo A.G. (2011) Analysis of chlormequat in human urine as a biomarker of exposure using liquid chromatography triple quadrupole mass spectrometry, Journal of Chromatography B, Volume 879, Issue 19, Pages 1551-1556 https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2011.03.046.
6. Lu, F.C. A Review of the Acceptable Daily Intakes of Pesticides Assessed by WHO, Regulatory Toxicology and Pharmacology, Volume 21, Issue 3, 1995, Pages 352-364, https://doi.org/10.1006/rtph.1995.1049
7. Matysiak, K., Kaczmarek, S. 2013. Effect of chlorocholine chloride and triazoles – tebuconazole and flusilazole on winter oilseed rape (*Brassica napus* var. oleifera L.) in response to the application term and sowing density. J. Plant Prot. Res., 53(1), 79–88. doi: 10.2478/jppr-2013-0012.
8. Palamarchuk O., Sakalova H., Vasylinych T., Lyubchak L., Shevchuk O., Matviichuk O., Khodanaitska O. 2022. Usage of Worked Clay Absorbent as a Manifestation of an Ecologically Oriented Lifestyle Ecol. Eng. Environ. Technol. 2 (23), 90 - 96. https://doi.org/10.12912/27197050/144825
9. Rohach V.V., Rohach T.I., Kylivnyk A.M., Polyvanyi S.V., Bayurko N.V., Nikitchenko L.O., Tkachuk O.O., Shevchuk O.A., Hudzevych L.S., Levchuk N.V. 2020. The influence of synthetic growth promoters on morphophysiological characteristics and biological productivity of potato culture. Modern Phytomorphology. 14, 111-114 DOI: 10.5281/zenodo.5078001
10. Sang-Kuk, K., Hak-Yoon, K. 2014. Effects of Gibberellin Biosynthetic Inhibitors on Oil, Secoisolaresonolodiglucoside, Seed Yield and Endogenous Gibberellin Content in Flax. Korean Journal of Plant Resources , 27 (3),229-235. doi : 10.7732/kjpr.2014.27.3.229
11. Tymchuk, I., Shkvirko, O., Sakalova, H., Malovanyy, M., Dabizhuk, T., Shevchuk, O., Vasylinych, T. 2020. Wastewater a Source of Nutrients for Crops Growth and Development. Journal of Ecological Engineering, 21(5), 88-96. https://doi.org/10.12911/22998993/122188 /

УДК 577.164.1 : 504.054

ЕКОЛОГО–ХІМІЧНІ АСПЕКТИ СТАБІЛЬНОСТІ ВІТАМІНІВ ГРУПИ В

***Худоярова О.С.**, кандидат технічних наук, доцент*
***Маслова Д.В**., здобувачка СВО магістра спеціальності Е3 Хімія*
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця, Україна

Вітаміни групи В є життєво важливими регуляторами метаболізму, проте їхня хімічна нестійкість у довкіллі створює екологічні ризики через втрату цінних речовин та негативний вплив продуктів їхнього розпаду. У контексті сталого розвитку, розробка та обґрунтування методів захисту вітамінів групи В від передчасної деградації є важливим інструментом «зеленого переходу»**.**

Згідно з вимогами до забезпечення якості, лікарський засіб має зберігати свою активність протягом усього терміну придатності [1]. В умовах зростаючих вимог до якості лікарських засобів, точна кількісна оцінка вмісту вітамінів та розуміння механізмів їхньої деградації набувають особливого практичного значення. Критичними показниками якості є: кількісний вміст, рівень домішок, розчинення, pH розчину. Деградація вітамінів може відбуватись як в умовах тривалого зберігання [2], так і безпосередньо під час технологічної переробки чи під впливом агресивних чинників довкілля**.** Забезпечення стабільності вітамінів групи В є не лише технологічним завданням, а й фундаментальним аспектом реалізації сучасних підходів до забезпечення ефективності та безпеки лікарських засобів в Україні [3].

Для вітамінів групи В «еколого-хімічний» аспект стабільності зводиться до чотирьох основних агресивних факторів: дія світла, окиснення, підвищена температура, зміна pH середовища. Кожен із них здатен зруйнувати фізичні, хімічні, біологічні або мікробіологічні властивості, які повинні знаходитися в межах певних норм, щоб гарантувати безпеку та ефективність ліків. Найнебезпечнішим фактором для вітамінів B12 та B2 є світло (фотодеструкція). Під дією УФ-випромінювання розриваються хімічні зв'язки в молекулі. Наприклад, B12 втрачає свою кобальтову групу, перетворюючись на неактивні форми (гідроксокобаламін). Продукти розпаду вітаміну B12 можуть бути сильнішими алергенами, ніж сам вітамін. Це пряме порушення принципу безпеки лікарських засобів. Найбільш чутливим до кисню є вітамін B1 (тіамін). У вологому середовищі або в розчинах тіамін легко окиснюється до тіохрому. Тіохром має флуоресценцію, але не має вітамінної активності. Вітаміни групи В є чутливими до тепла. Підвищення температури прискорює всі хімічні реакції в десятки разів. Рівень pH є специфічним хімічним фактором, особливо важливий для комбінованих препаратів. Вітамін B1 стабільний лише в кислому середовищі (pH 2.0–4.0). Якщо pH зміщується до нейтрального, він руйнується миттєво. Якщо хімічна стабільність порушена, фактична концентрація вітаміну падає.

Техногенні чинники суттєво прискорюють деградацію вітамінів групи В, перетворюючи їх із біологічно активних сполук на інертні або навіть токсичні продукти

розпаду. Забруднення води та ґрунту іонами металів (Cu^{2+}, Fe^{3+}, Hg^{2+}, Pb^{2+}) є найагресивнішим чинником. Навіть у мікродозах ці метали виступають як потужні каталізатори окиснення. Не лише катіони металів, а й аніони мають вплив. Високий вміст сульфат- та хлорид-іонів у техногенно змінених водах може сприяти гідролітичному розщепленню вітамінів групи В при нагріванні, а присутність карбонат-іонів має згубний вплив на тіамін та пантотенову кислоту. Техногенне середовище створює «хімічний тиск», який скорочує термін придатності вітамінів і вимагає використання спеціальних стабілізаторів або захисного пакування. Щоб забезпечити стабільність вітамінів групи В і виконати вимоги щодо якості та безпеки, виробники використовують спеціальні допоміжні речовини: антиоксиданти (проти окиснення), буферні системи (підтримка pH), хелатуючі агенти (зв'язування металів), консерванти та стабілізатори розчинності, кріопротектори та наповнювачі. Вибір допоміжних речовин – це не просто технічне питання, а виконання вимог належної виробничої практики (GMP).

Вимога до якості ліків включає вибір «правильної» упаковки. Вона має бути одночасно максимально інертною та екологічно безпечною. Так, для фоточутливих вітамінів В2 та В12 упаковка повинна повністю блокувати УФ-випромінювання. Тому використовується темно-бурштинове скло або непрозорі біополімери. Мінімізація продуктів деградації через впровадження інноваційних методів захисту таких як мікроінкапсуляція, ліпосомальні системи доставки або використання інтелектуальної упаковки стає ключовим етапом «зеленого переходу».

Отже, стабільність вітамінів групи В суттєво залежить від впливу екологічних факторів, таких як світло, температура та pH, а також техногенного забруднення важкими металами, що каталізують їх деградацію. Забезпечення якості препаратів вимагає комплексного захисту молекул за допомогою допоміжних речовин та дотримання стандартів GMP для запобігання утворенню токсичних продуктів розпаду. Кількісна оцінка вмісту вітамінів групи В виступає об'єктивним інструментом контролю їхньої еколого–хімічної стабільності, що дозволяє не лише зафіксувати деструкцію сполук під впливом певних факторів, а й прогнозувати збереження біологічної цінності вітаміну в умовах техногенного навантаження.

Література

1. Про лікарські засоби : Закон України від 04.04.1996 р. № 4472-IX. Дата оновлення: 03.07.2025. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/123/96-%D0%B2%D1%80#Text

2. Худоярова О.С., Маслова Д.В. Фізико-хімічні аспекти стабільності водорозчинних вітамінів групи В у процесі тривалого зберігання. XIX Полтавські хімічні читання : Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції, (Полтава, 18–19 березня 2026 р), Полтав. нац. пед. ун-т ім. В.Г. Короленка. С. 103-105.

3. Шумейко М.В., Худоярова О.С. Сучасні підходи до забезпечення ефективності та безпеки лікарських засобів в Україні. *Health & Education*. Вип. 4, 2025. С. 128-134. DOI: https://doi.org/10.32782/health-2025.4.17

УДК 579.64:631.46:631.847

СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА МЕТААНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БАКТЕРІЙ РОДУ *AZOTOBACTER*

***Козар С.Ф.**, доктор с.-г. наук Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН,*
Національний університет «Чернігівська політехніка»
***Воробей Ю. О.**, канд. біол. наук, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН*
***Логоша О.В.**, доктор філософії, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН,*
Національний університет «Чернігівська політехніка»

Сьогодні парадигма сільськогосподарського виробництва знаходиться у процесі трансформації. Це пов’язано з увагою до екологічних аспектів, а також з необхідністю забезпечення продовольчої безпеки на фоні деградації орних ґрунтів та виснаження їхньої природної родючості. Інтенсифікація аграрного виробництва протягом останнього століття історично спиралася на масове, часто неконтрольоване, застосування синтетичних агрохімікатів. Мінеральні азотні добрива наразі забезпечують значну частину світового виробництва продовольства, проте їхня екологічна та економічна ефективність знижується. Це зумовлено зокрема тим, що близько 50% внесеного в ґрунт азоту втрачається через процеси вимивання нітратів, біологічну денітрифікацію та емісію оксиду азоту [1]. Тому дослідження та інтродукція корисних ґрунтових мікроорганізмів, що стимулюють ріст рослин, зокрема аеробних вільноживучих азотфіксувальних бактерій роду *Azotobacter*, є актуальною.

Аналіз динаміки публікаційної активності у 2000-2025 рр. виявив стабільний експоненційний висхідний тренд. Таксономічна структура досліджуваних мікробних об'єктів свідчить про домінування виду *A. vinelandii* (близько 40 % загальної вибірки) у генетичних та біохімічних дослідженнях. Це зумовлено його здатністю синтезувати різні типи нітрогеназних комплексів, а також промисловою значущістю як продуцента біополімерів.

Натомість вид *A. chroococcum* є лідером як основа біопрепаратів для застосування у сільському господарстві, що зумовлено їх високою конкурентоспроможністю у мікробіомі ризосфери та здатністю до інтенсивного синтезу меланіноподібних пігментів, що забезпечують ефективний захист клітин.

Аналіз створеної бази даних показав значущий та стабільно позитивний ефект інокуляції сільськогосподарських культур азотобактером. Найвища фізіологічна чутливість до бактерізації спостерігається у групи овочевих культур, що пояснюється їхнім інтенсивним, стиснутим у часі вегетаційним періодом, та високою потребою у легкодоступних елементах живлення на ранніх етапах

онтогенезу. Також високий приріст від застосування азотобактера демонструють зернові злакові культури (пшениця, кукурудза, рис).

Особливий науковий та практичний інтерес становить вплив бактерізації на технічні олійні культури, зокрема соняшник. Доведено, що передпосівна інокуляція насіння специфічними штамами бактерій роду *Azotobacter* підвищує енергію проростання та схожість, стимулюючи інтенсивний розвиток первинної кореневої системи на перших етапах органогенезу, що є критичним фактором для формування посухостійкості посівів у зонах ризикованого землеробства.

Зафіксовано синергетичний ефект при сумісній інокуляції насіння зернобобових культур азотобактером і симбіотичними діазотрофами. У цьому комплексі бактерії роду *Azotobacter* стимулюють проліферацію кореневих волосків ексудатами, створюючи умови для ефективного проникнення та нодуляції бульбочковими бактеріями.

Ефективність азотобактера базується на складному комплексі взаємопов’язаних механізмів. Окрім процесу фіксації азоту атмосфери, важливим трофічним фактором є мобілізація важкодоступних ґрунтових фосфатів. Завдяки інтенсивній секреції низькомолекулярних органічних кислот вміст рухомого фосфору в ризосфері зростає у середньому на 21,9 % [1].

Не менш вагомим чинником впливу є продукування широкого спектра фітогормонів: індол-3-оцтової кислоти, гіберелінів та цитокінінів, які впливають на ріст і розвиток рослин, посилюють розгалуження та збільшують загальну абсорбційну поверхню кореневої системи.

Важливим є біохімічний механізм пом'якшення стресу. Завдяки високій активності ферменту 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат дезамінази, штами бактерій роду *Azotobacter* здатні розщеплювати рослинний попередник етилену. Це знижує рівень етилену в тканинах рослин, ефективно нівелюючи деструктивний вплив таких абіотичних стресів, як ґрунтова посуха, екстремальні температури та вторинне засолення ґрунтів.

Синтез позаклітинних полісахаридів дозволяє формувати щільні захисні біоплівки на поверхні кореня, стабілізуючи водний режим. Крім того, ці бактерії виступають активними агентами екологічного біоконтролю небезпечних ґрунтових фітопатогенів, зокрема грибів родів *Fusarium* та *Alternaria*. Механізм антагонізму реалізується шляхом синтезу сидерофорів, продукування синильної кислоти та виділення комплексу антимікробних метаболітів.

Слід відзначити унікальну фізіологічну здатність клітин азотобактера формувати цисти, які стійкі до впливу негативних чинників оточуючого середовища. Ця властивість відкриває широкі перспективи для масштабного промислового виробництва біопрепаратів із подовженим терміном зберігання.

Глобальний макроекономічний вимір проведеного дослідження підтверджує стрімке, інвестиційно привабливе розширення світового ринку мікробних інокулянтів, зокрема, на основі бактерій роду *Azotobacter*. За даними провідних

аналітичних агенцій, загальний обсяг цього сегменту за оптимістичними прогнозами передбачається на рівні у 29,8 млрд доларів США до 2034 року з постійним щорічним темпом сукупного зростання понад 12,7% [2].

Отримана в результаті створення бази даних та системного метааналізу інформація слугує підґрунтям для цілеспрямованої селекції нових ефективних штамів. Результати дослідження також сприяють розробці нових комплексних мікробних препаратів, оптимізації технологічних регламентів їх польового застосування та формують концептуальний базис для стратегічного переходу до біологічно збалансованого, екологічно безпечного управління агроекосистемами у відповідності до чинного законодавства України [3] та глобальних цілей сталого розвитку.

Література

1. Abbas N., et al. Exploring *Azotobacter* species as soil biological enhancers for enhanced crop nutrition and stable yields: a review [Електронний ресурс]. Qeios, 2024. Режим доступу: https://www.qeios.com/read/OVM1DB

2. Azotobacter-based biofertilizer market size & share report, 2034 [Електронний ресурс]. GM Insights, 2024. Режим доступу: https://www.gminsights.com/industry-analysis/azotobacter-based-biofertilizer-market

3. Про наукову і науково-технічну діяльність : Закон України від 26.11.2015 № 848-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2016. № 3. Ст. 25. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19

УДК 633.63:620.952

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Балабак О. А., д. с.-г. н., ***Прошкін В. А.***, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, Уманський національний університет, Умань, Україна

Сучасні реалії нашої країни, її енергетичне забезпечення та світові тенденції зумовлюють зростання інтересу до відновлюваних джерел енергії, серед яких важливе місце займає впровадження енергетичних культур. Однією з найбільш перспективних рослин для даної галузі є міскантус (Miscanthus), який характеризується високою продуктивністю біомаси, відносною невибагливістю до умов вирощування та здатністю ефективного використання природніх ресурсів [4].

Правобережний Лісостеп України характеризується помірно-континентальним кліматом із достатнім рівнем зволоження, що створює сприятливі умови для вирощування багаторічних злакових енергетичних культур. Середньорічна кількість опадів становить 500–600 мм, а сума активних температур цілком відповідає біологічним потребам міскантусу [1].

Важливим чинником успішного вирощування культури є правильний вибір ґрунтових умов. Найкращими для Miscanthus є родючі чорноземи з нейтральною або слабокислою реакцією ґрунтового розчину. Разом з тим, рослина здатна рости на малопродуктивних і деградованих землях, що відкриває можливості для використання в тому числі відновлювальних територій без конкуренції з продовольчими культурами [2, 3].

Створення насаджень міскантусу здійснюється шляхом висаджування ризом або розсади. Оптимальні строки садіння – ранньо-весняний період за достатнього прогрівання ґрунту, що становить близько 8–10 °С. Схема садіння зазвичай становить близько 70×70 см, що забезпечує оптимальну густоту рослин та подальше їх змикання в рядах насаджень. У перший рік після висаджування, рослини міскантусу потребують ретельного догляду, зокрема контролю кількості бур’янів, зволоження та удобрення, оскільки початковий ріст цієї енергетичної культури є досить повільним [3, 5].

Починаючи з другого року вирощування, рослини починають досягати максимальної продуктивності, формуючи врожай сухої біомаси на рівні близько 15 т/га і більше залежно від умов вирощування. Важливою перевагою культури є низькі витрати на догляд за рослинами міскантусу в умовах насаджень. Міскантус, особливо в перші роки вирощування практично не потребує внесення значних доз мінеральних добрив та засобів захисту рослин, що знижує собівартість продукції та екологічне навантаження на довкілля. Крім того, культура характеризується високою стійкістю до шкідників і хвороб [4, 6].

Екологічні переваги вирощування міскантусу є комплексними та проявляються на різних рівнях функціонування агроекосистем. Передусім, використання цієї культури як

сировини для біоенергетики сприяє суттєвому зменшенню викидів парникових газів, оскільки в процесі спалювання біомаси виділяється лише та кількість вуглекислого газу, яка була попередньо поглинута рослинами під час фотосинтезу Отримана біомаса може використовуватися для виробництва твердого біопалива (пелет, брикетів), а також як сировина для біоенергетичних установок [3].

Важливою екологічною перевагою є позитивний вплив міскантусу на ґрунтовий покрив. Завдяки добре розвиненій, глибокій і багаторічній кореневій системі ця культура сприяє покращенню структури ґрунту, підвищенню його пористості, водопроникності та аерації. Накопичення органічної речовини внаслідок відмирання кореневих і надземних решток забезпечує поступове зростання вмісту гумусу, що є ключовим фактором родючості. Водночас відбувається активне зв'язування вуглецю в ґрунті, що має важливе значення для довготривалого депонування органічного вуглецю та пом'якшення змін клімату [5].

Miscanthus, також виконує важливу протиерозійну функцію. Суцільний рослинний покрив і щільна коренева система ефективно захищають ґрунт від водної та вітрової ерозії, зменшуючи змивання родючого шару та втрати поживних речовин. Окрім того, насадження міскантусу можуть виконувати функції екологічних буферів, знижуючи рівень пилового забруднення, акумулюючи важкі метали та інші полютанти, а також слугуючи середовищем існування для багатьох видів фауни [5, 6].

Таким чином, вирощування міскантусу забезпечує не лише енергетичний ефект, але й суттєві екосистемні чинники, спрямовані на відновлення та збереження природних ресурсів, що є ключовим компонентом сталого розвитку аграрного сектору. Використання цієї культури сприяє диверсифікації сільськогосподарського виробництва, розвитку біоенергетики та підвищенню енергетичної незалежності держави.

Література

1. Барбаш В.А., Зінченко В.О., Трембус І.В. Ресурсозберігаючі технології перероблення стебел міскантуса. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2012. № 5. С. 123.

2. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Трибой О.В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ № 10. 2014. 33 с.

3. Baycan-Levent T., Vreeker R., Nijkamp P. A Multi-Criteria Evaluation of Green Spaces in European Cities. European Urban and Regional Studies. 2009. 16 (2). P. 193–213.

4. Brosse N., Dufour A., Meng X. et al. Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. Biofuels, Bioprod. Bioref. 2019. P. 34–45.

5. City of Dresden. Zukunft Dresden 2025. Integriertes Stadtentwicklungskonzept Dresden (INSEK). Dresden. 2016. 150 p.

6. Parker J. Drought resistance in woody plants. Bot. Rev. 1996. 22. P. 247.

УДК 581.524.13:[633.88:631.147]

АЛЕЛОПАТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ЯК ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРОЕКОСИСТЕМ

***Гнатюк Н. О.**, кандидат біологічних наук, доцент, Уманський національний університет, Умань, Україна*

Сучасна стратегія сталого розвитку аграрного сектору вимагає докорінного перегляду підходів до захисту рослин. В умовах посилення екологічних вимог EU Green Deal та необхідності декарбонізації виробництва, алелопатія виступає як один із найбільш перспективних природних механізмів біологічного контролю. Взаємодія між рослинами через секрецію вторинних метаболітів є складним еволюційним інструментом, який дозволяє формувати стійкі фітоценози та регулювати чисельність небажаних видів без залучення синтетичних гербіцидів [1].

Лікарські рослини, що характеризуються високим рівнем біосинтезу біологічно активних сполук, володіють винятковим алелопатичним потенціалом. Їх метаболізм спрямований на синтез складних молекул — алелохімікатів (алкалоїдів, терпеноїдів, фенольних сполук, глікозидів), які виконують роль природних інгібіторів росту [2]. Фенольні сполуки, які є найбільш поширеним класом алелохімікатів, включають похідні коричної та бензойної кислот, кумарини та флавоноїди. Їхня дія спрямована на інгібування поглинання іонів, зміну проникності клітинних мембран та порушення гормонального балансу в рослинах-рецепторах [1; 3]. Зокрема, фенольні сполуки здатні знижувати активність Н+-АТФази плазматичної мембрани, що призводить до деполяризації мембранного потенціалу та блокування активного транспорту поживних речовин через кореневу систему.

Терпеноїди, що входять до складу ефірних олій багатьох лікарських рослин, виступають як леткі інгібітори, здатні пригнічувати мітотичну активність у меристематичних тканинах та перешкоджати процесам окиснювального фосфорилювання в мітохондріях [2; 6]. Це створює подвійний бар'єр для розвитку бур'янів: хімічний тиск на клітинному рівні та енергетичне виснаження організму рецептора. Алкалоїди, як азотовмісні сполуки, виявляють специфічну цитотоксичну дію, втручаючись у процеси синтезу нуклеїнових кислот та трансляції білків. Їхня здатність до інтеркаляції в ДНК або пригнічення роботи рибосом робить їх одними з найпотужніших природних регуляторів чисельності конкурентів в агроценозі [3].

Глікозиди часто виконують роль «транспортних форм» алелохімікатів, які після вимивання у ґрунт або розкладання рослинних решток піддаються ферментативному гідролізу з вивільненням активних агліконів. Такий ступінчастий механізм вивільнення забезпечує пролонговану алелопатичну дію лікарських рослин протягом усього вегетаційного періоду [5]. Глибоке розуміння цих процесів дозволяє розглядати лікарські культури як функціональні компоненти сучасних сівозмін, що забезпечують фітосанітарну безпеку агроландшафтів [3].

Механізм дії алелохімікатів лікарських рослин на рослини-рецептори (зокрема сегетальну рослинність) має багатогранний характер. Основним вектором впливу є деструкція клітинних мембран та порушення метаболічних шляхів у тканинах проростків бур’янів. Дослідження показують, що фенольні сполуки здатні блокувати активність ключових ферментів дихання та фотосинтезу, що призводить до накопичення вільних радикалів та розвитку окиснювального стресу [1; 6]. Це спричиняє каскад незворотних реакцій: від уповільнення поділу клітин у меристематичних зонах до повної загибелі проростків. При цьому важливо зазначити, що чутливість культурних рослин, таких як пшениця (Triticum aestivum L.), до дії певних концентрацій алелохімікатів є нижчою, ніж у більшості видів сегетальної флори, що створює вікно можливостей для селективного біологічного контролю.

Важливим аспектом є вплив алелохімікатів на енергетичний обмін рослин-рецепторів. Встановлено, що присутність активних колінів лікарських рослин у середовищі пригнічує активність ферментів АТФ-ази, що призводить до дефіциту енергії для поглинання мінеральних елементів та води [2]. Це створює умови вторинного дефіциту ресурсів для бур'янів навіть за їх достатньої кількості у ґрунті. Таким чином, алелопатія діє не лише як прямий токсикант, а й як фізіологічний інгібітор конкурентоспроможності шкідливих видів [5]. Такий механізм дозволяє культурним рослинам швидше формувати вегетативну масу та затінювати бур'яни, забезпечуючи «ефект випередження» у рості.

Окрім прямого впливу на вищі рослини, алелопатія відіграє ключову роль у формуванні мікробіологічного профілю ґрунту. Ексудати лікарських рослин стимулюють розвиток специфічних груп мікроорганізмів, які діють як антагоністи ґрунтових патогенів. Таким чином, запровадження алелопатично активних культур у сівозміни сприяє відновленню біологічної активності ґрунтів, що є критично важливим для сталого розвитку територій [4]. Формування «алелопатичної пам’яті» ґрунту дозволяє підтримувати низький рівень забур’яненості протягом декількох сезонів навіть після збирання врожаю рослини-донора. Це створює довготривалий ефект очищення агроценозу від насіння бур'янів, що знаходяться у стані спокою.

Окремої уваги заслуговує роль алелопатії у процесах вуглецевої секвестрації та відновлення ґрунтової родючості. Використання лікарських рослин як сидератів або проміжних культур дозволяє не лише накопичувати органічну речовину, а й через алелопатичні взаємодії стимулювати гуміфікацію рослинних решток [1]. Це робить алелопатичні методи захисту невід'ємною частиною стратегії адаптації агровиробництва до змін клімату, оскільки здорові та біологічно активні ґрунти краще утримують вологу та стійкіші до ерозії. Впровадження таких підходів відповідає глобальним цілям декарбонізації та збереження екосистемних послуг [4].

Практична реалізація алелопатичного потенціалу в екологічному менеджменті агропідприємств може відбуватися за декількома напрямами. По-перше, це конструювання змішаних посівів, де лікарські рослини виконують роль живих мульчуючих агентів. По-друге, використання фітомаси лікарських культур для створення

водних екстрактів — природних біогербіцидів, що є безпечними для людини та комах-запилювачів. По-третє, оптимізація структури агрофітоценозів через включення алелопатичних «пауз» у традиційні сівозміни для розриву життєвих циклів домінуючих видів бур'янів [2; 5]. Це дозволяє реалізувати концепцію інтегрованого захисту рослин на принципово новому, біологічному рівні.

Особливе значення алелопатичні дослідження мають для розвитку органічного землеробства. Відсутність можливості використання синтетичних пестицидів робить біологічні методи контролю єдиним інструментом підтримки врожайності. Лікарські рослини у цьому контексті стають стратегічним ресурсом, який дозволяє отримувати продукцію з високою доданою вартістю та мінімальним екологічним слідом. Розробка комерційних препаратів на основі алелохімікатів відкриває нові ніші для інноваційного бізнесу в агросекторі, сприяючи залученню інвестицій у екологічно орієнтовані проекти [3; 6]. Це створює передумови для формування потужного кластеру «зелених» технологій, що здатні забезпечити економічне зростання при збереженні якості довкілля.

Підсумовуючи, слід наголосити, що алелопатичний потенціал лікарських рослин є потужним інструментом, здатним радикально змінити парадигму сучасного землеробства. Використання природних механізмів регуляції дозволяє не лише ефективно боротися з бур'янами, а й відновлювати екологічну цілісність агроландшафтів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення синергічної дії сумішей алелохімікатів та їх трансформації у ґрунті за різних кліматичних умов. Це дозволить створити надійні, передбачувані та екологічно безпечні технології захисту рослин майбутнього, що забезпечують сталий розвиток і продовольчу безпеку без шкоди для здоров'я майбутніх поколінь.

Література

1. Cheng F., Cheng Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. 1020 p.

2. Rice E. L. Allelopathy. 2nd ed. Orlando : Academic Press, 1984. 422 p.

3. Allelopathy of medicinal plants: current status and future prospects in weed management / A. K. M. M. Islam et al. *Agricultural Sciences*. 2018. Vol. 9. P. 1569–1588.

4. Шерстобоєва О. В., Дем'янюк О. С. Екологічна стійкість та безпека агросфери. Київ : Аграрна наука, 2019. 256 с.

5. Гродзинський А. М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Київ : Наукова думка, 1965. 200 с.

6. Phytotoxic effect of allelochemicals and herbicides on photosynthesis, growth and carbon isotope discrimination / M. I. Hussain et al. *Allelopath. J.* 2010. Vol. 22. P. 441–449.

УДК 159.944:631

ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЯК РЕСУРС ЗНИЖЕННЯ СТРЕСУ У ФЕРМЕРСЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Полагенько О.С., *Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН, м. Одеса, Україна*
Чесак М.Г., *Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хліободарське, Україна*

В умовах повномасштабної війни аграрний сектор України функціонує під впливом додаткових дестабілізуючих чинників, зокрема загроз безпеці, руйнування інфраструктури, порушення логістичних ланцюгів, економічної нестабільності та обмеженого доступу до ресурсів. Сільськогосподарські виробники змушені здійснювати професійну діяльність в умовах постійної невизначеності, що суттєво підвищує рівень психоемоційного навантаження.

Сільськогосподарська діяльність і в мирний час належить до найбільш стресогенних сфер, що зумовлено поєднанням фізичних навантажень, залежністю від природно-кліматичних умов, сезонністю робіт та високим рівнем відповідальності за результати виробництва. В умовах воєнного часу ці фактори посилюються, що актуалізує проблему збереження психологічного здоров'я фермерів.

Фермери належать до групи підвищеного ризику щодо розвитку хронічного стресу, тривожних станів та емоційного вигорання. Тривалий вплив стресових факторів негативно позначається не лише на психічному стані, але й на фізичному здоров'ї, продуктивності праці та здатності приймати ефективні управлінські рішення.

Міжнародний досвід свідчить про актуальність цієї проблеми та необхідність цілеспрямованої підтримки фермерів. Зокрема, у США функціонують спеціалізовані програми психологічної підтримки фермерів, спрямовані на подолання стресу та кризових станів, включаючи гарячі лінії та освітні ініціативи з розвитку навичок саморегуляції. В Австралії, де аграрний сектор регулярно зазнає впливу посух, впроваджуються програми підвищення психологічної стійкості фермерів, які поєднують навчання методам управління стресом із розвитком спільнотної підтримки. У країнах Європейського Союзу також реалізуються підходи, що інтегрують питання ментального здоров'я у систему дорадництва та аграрної освіти.

Практикування технік саморегуляції є одним із ключових інструментів зниження рівня стресу. До найбільш доступних та ефективних належать техніки релаксації, зокрема глибоке дихання, прогресивна м'язова релаксація, медитативні практики, а також організація коротких перерв у процесі роботи. Застосування

таких методів сприяє нормалізації діяльності нервової системи, зниженню рівня тривожності та покращенню загального психоемоційного стану.

Водночас специфіка фермерської діяльності створює унікальні передумови для природного зниження рівня стресу. Постійний контакт із природним середовищем, робота на відкритому повітрі, взаємодія з рослинами та природними процесами можуть виступати як потужний ресурс психоемоційного відновлення. На відміну від мешканців урбанізованих територій, які змушені організовувати відпочинок у природному середовищі, фермери мають можливість щоденного безпосереднього доступу до такого ресурсу.

Наукові дослідження підтверджують, що регулярне перебування у природному середовищі сприяє зниженню рівня фізіологічних показників стресу, покращенню емоційного стану та підвищенню загального рівня психологічного благополуччя. Навіть короткочасний контакт із природою має позитивний вплив на психоемоційний стан людини.

Важливим є не лише сам факт перебування на природі, але й усвідомлене використання цього ресурсу. Виконання повсякденних виробничих завдань із концентрацією уваги на власних відчуттях, звуках довкілля, ритмі дихання може трансформувати рутинну діяльність у форму природоорієнтованої психоемоційної саморегуляції. Водночас проблема полягає у недостатній обізнаності фермерів щодо можливостей використання простих і доступних методів управління стресом. Це зумовлює необхідність поширення інформації та формування відповідних навичок саморегуляції у сільському середовищі.

Таким чином, фермери мають значний, проте недостатньо усвідомлений ресурс для підтримання власного психологічного здоров’я. Практикування навичок управління стресом у поєднанні з використанням природного середовища як ресурсу відновлення сприяє підвищенню психологічної стійкості, зниженню рівня стресу та покращенню якості життя.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці та апробації адаптованих програм психоемоційної підтримки фермерів з урахуванням умов воєнного часу, оцінці ефективності природоорієнтованих підходів до саморегуляції, а також у вивченні впливу регулярного контакту з природним середовищем на довгострокові показники психологічного благополуччя та професійної ефективності сільськогосподарських виробників.

УДК 631.459.2:004.942

РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Кот А.Г., *Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

Земельні ресурси України - це стратегічний фундамент продовольчої безпеки, проте сьогодні вони перебувають під тиском водної ерозії, яку FAO класифікує як «тиху кризу» [1-3]. На прикладі Роганської ТГ (Харківська область) ми дослідили, як водна ерозія знижує врожайність і перетворює родючі чорноземи на збиткові ділянки.

За фактичними показниками виробничих витрат аналогічних господарств регіону, собівартість вирощування соняшнику на суміжних ділянках становить близько 20 500 грн/га, інтенсивність використання ресурсів залишається незмінною як для стабільних ґрунтів, так і для еродованих схилів. На середньоеродованих ділянках діаметр кошика соняшнику зменшується вдвічі, а маса насіння - на 76,2%, що свідчить про глибоке порушення процесів наливу зерна. Розрахункові дані фіксують падіння продуктивності до 2,9 ц/га, що на 82,3% менше порівняно з продуктивними землями того ж масиву (16,4 ц/га). Результати показують, що на середньоеродованих схилах врожайність падає на 85,1% від середньорегіонального рівня [4].

За умови ідентичних інвестиційних витрат, еродовані ділянки генерують чистий збиток у розмірі 14 720 грн/га, тоді як на слабоеродованих ґрунтах зберігається прибутковість на рівні 12 185 грн/га. Таким чином, деградовані ландшафти виступають «фінансовим баластом» агроландшафту. Вони поглинають ресурси без адекватної віддачі, що робить традиційну модель обробітку на таких схилах економічно недоцільною та потребує переходу до альтернативних сценаріїв відновлення. Деградований ґрунт стає «фінансовим баластом», який поглинає прибуток, отриманий на продуктивних ділянках.

Для пошуку оптимального виходу з «технологічної пастки» та оцінки довгострокових наслідків деградації ми застосовуємо імітаційне моделювання у середовищі Vensim [5]. На відміну від традиційних статичних розрахунків, метод системної динаміки дозволяє врахувати ефект синергії між екологічними та економічними процесами. Використання Vensim забезпечує: моделювання петель зворотного зв’язку (Feedback Loops). Ми інтегруємо в модель пряму залежність: «ерозія - зниження врожайності - зменшення біомаси - прискорення ерозії». Це дозволяє виявити «точку невороття», після якої стандартна агротехнологія стає безнадійно збитковою; аналіз накопичувальних процесів (Stocks and Flows). Ґрунтова родючість розглядається як динамічний накопичувач (Stock), рівень якого змінюється залежно від інтенсивності експлуатації (Flow) та впровадження відновлювальних заходів; сценарне прогнозування (What-if analysis). Модель дозволяє миттєво порівняти фінансові та екологічні траєкторії.

На основі імітаційного моделювання у середовищі Vensim пропонується розглянути три варіанти (сценарії) подальшого використання деградованих земель Роганської ОТГ на перспективу до 2035 року:

1. Сценарій «Status Quo» (залишаємо все як є). Продовження виснажливого вирощування соняшнику. Модель прогнозує накопичення сумарних збитків на деградованих ділянках (понад 147 тис. грн/га за 10 років без урахування інфляції) та повне вичерпання ресурсу ґрунту, що зробить землю непридатною навіть для пасовищ.

2. Сценарій «Рекультивація». Переведення середньоеродованих земель під багаторічні трави (сіножаті). Vensim показує стабілізацію ерозії вже та поступове накопичення органічного вуглецю. Економічний ефект досягається через створення кормової бази та економію на безперспективних агровитратах.

4. Сценарій «Енергетична трансформація». Вилучення деградованих ділянок з обробітку та встановлення наземних фотоелектричних станцій (СЕС).

Встановлення систем відновлюваної енергії на деградованих землях (ділянках з низькою економічною цінністю або фізичними обмеженнями) дозволяє повернути невикористовувані території у виробничий обіг, не створюючи конкуренції за родючі сільськогосподарські угіддя. Наприклад, впровадження агровольтаїки (AV) на деградованих ділянках дозволяє отримувати подвійний дохід - від генерації електроенергії та супутнього сільського господарства, що може підвищити ефективність використання землі до 180% [7]. Це особливо актуально для Роганської ОТГ, де вирощування традиційних культур на еродованих схилах є збитковим, тоді як енергетична трансформація дозволяє перетворити ці площі на стабільне джерело прибутку.

Використання деградованих ландшафтів під сонячні панелі сприяє їхньому біологічному самовідновленню та захисту від подальшого руйнування. Світовий досвід показує, що затінок від сонячних панелей створює сприятливий мікроклімат, який знижує температуру ґрунту, утримує вологу та стимулює ріст рослинності. У деяких проєктах на раніше безплідних через ерозію землях рівень рослинного покриву зріс з 1% до 90% [8] після встановлення енергетичного обладнання, що зупинило вимивання ґрунту та сприяло накопиченню органічного вуглецю [8, 9]. Таким чином, енергетичні об'єкти виступають не лише джерелом «зеленої» енергії, а й дієвим інструментом рекультивації пошкоджених екосистем

Дослідження підтверджує, що вирощування соняшнику на середньоеродованих ґрунтах Роганської ОТГ є глибоко збитковим: за однакових інвестицій (20 500 грн/га) врожайність падає на 82%, що генерує збитки у розмірі 14 720 грн/га. Імітаційне моделювання у Vensim доводить, що продовження поточної практики призведе до незворотної деградації ґрунту та накопичення сумарних фінансових втрат понад 147 тис. грн/га протягом десятиліття. Оптимальною альтернативою є сценарій енергетичної трансформації (агровольтаїки), який дозволяє підвищити ефективність використання землі до

180%. Встановлення сонячних панелей не лише забезпечує стабільний дохід громаді, а й створює сприятливий мікроклімат для самовідновлення рослинного покриву та консервації ґрунту. Це перетворює деградовані ландшафти з «фінансового баласту» на інструмент сталого еколого-економічного розвитку.

Література

1. Медведєв В. В., Пліско І. В. Теоретичні та прикладні аспекти прогнозування стану ґрунтового покриву. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 1. С. 5–13. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-01.

2. Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019. 100 p. URL: https://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf.

3. Global status of black soils. Rome : FAO & ITPS, 2022. 182 p. URL: https://www.fao.org/3/cc3124en/cc3124en.pdf.

4. Виробництво сільськогосподарських культур за категоріями господарств станом на 1 грудня 2025 року : стат. бюлетень / Головне управління статистики у Харківській області. Харків, 2025. URL: https://surl.lt/wkqlwg (дата звернення: 07.03.2026).

5. Kashem M. A. Exploring climate change and sustainability issues in Bangladesh through system dynamics. Discover Sustainability. 2025. Vol. 6, No. 1073. DOI: https://doi.org/10.1007/s43621-025-01652-5.

6. Sunflower prices in Ukraine. UkrAgroConsult. 2026. URL: https://ukragroconsult.com/sunflower-prices/ (дата звернення: 07.03.2026).

7. Agrivoltaics. Global Environment Facility. 66th GEF Council Meeting. February 5 – 9, 2024. Washington D.C., USA. 2024. (GEF/STAP/C.66/Inf.04). 28 p.

8. Xiao Y. et al. An agrivoltaic park enhancing ecological, economic and social benefits on degraded land in Jiangshan, China. Land. 2022. Vol. 11, No. 3. DOI: https://doi.org/10.3390/land11030403.

9. Milbrandt A. R., Heimiller D. M., Perry A. D., Field C. B. Renewable energy potential on marginal lands in the United States. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 29. P. 473–481. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.083.

УДК 631.15:504.7:551.583(477)

ОЦІНКА ЕМІСІЙНОГО ПРОФІЛЮ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ АГРОПІДПРИЄМСТВА В КОНТЕКСТІ КЛІМАТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

***Тараненко А.О.**, к.с.-г.н., **Нагірна А.О.**, здобувачка вищої освіти ОП Екологія,*
Полтавський державний університет, м. Полтава, Україна

Сільськогосподарський сектор виступає одним із найбільш специфічних джерел антропогенного впливу на клімат [4]. На відміну від енергетики, де переважає CO_2, аграрне виробництво генерує значні обсяги метану (CH_4) та оксиду діазоту (N_2O), чий потенціал глобального потепління у десятки разів вищий. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю адаптації українського агробізнесу до вимог ЄС та впровадження прозорих методик моніторингу вуглецевого сліду [3].

Аналіз структури емісій в агросекторі України (за даними Національного звіту про інвентаризацію) свідчить, що категорія «Сільськогосподарські ґрунти» залишається домінуючою [1,5]. Проте особливої уваги потребує динаміка останніх років. Хоча у 2022 році спостерігалося різке падіння викидів через воєнні дії, дані 2023-2024 років демонструють поступове відновлення інтенсивності виробництва та, відповідно, зростання викидів на 1,41%.

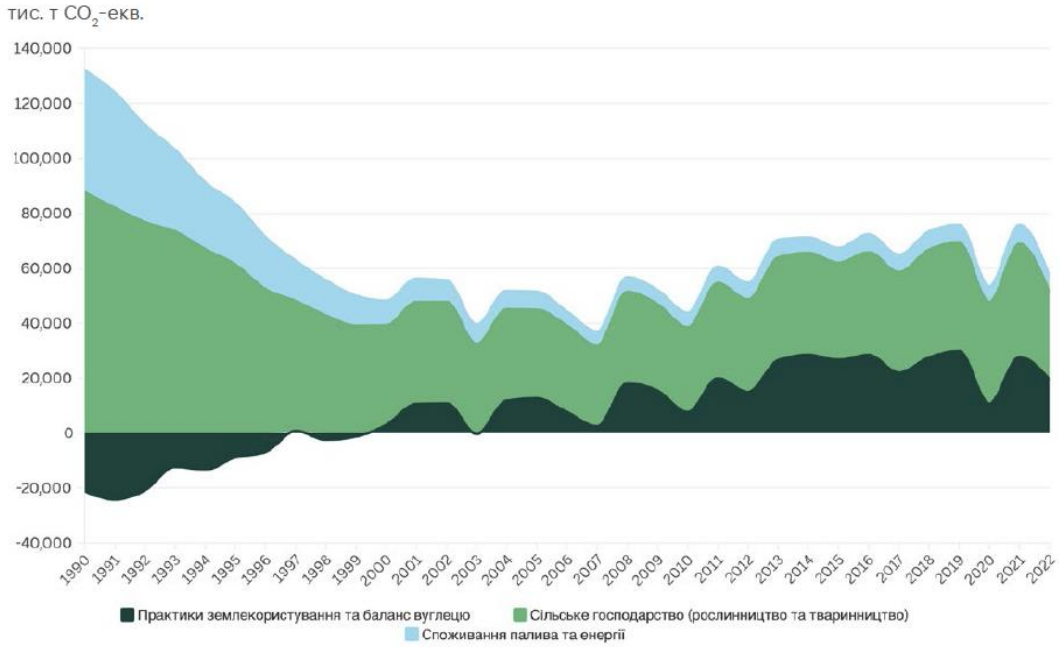


Рис.1. Динаміка викидів парникових газів 1900-2022р.р.

Джерело: Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні

Національні політики демонструють важливість впровадження системи обліку викидів парникових газів. Нормативно-правові акти України та Стратегія

низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, спрямовані на створення внутрішніх механізмів верифікації викидів, які б визнавалися на міжнародному рівні. Це вимагає від агропідприємств не лише дотримання екологічних норм, а й впровадження систем моніторингу, що регулюють кількісне визначення та звітність про викиди ПГ. Тому, для українського аграрного сектору є актуальною оцінка викидів парникових газів за допомогою міжнародних методик IPCC Guidelines та GHG Protocol. Це забезпечить порівнянність результатів, аналіз ефективності впроваджених технологій з метою формування прогнозів щодо зменшення парникового впливу сільського господарства та є необхідною умовою на шляху до впровадження механізму прикордонного вуглецевого коригування (CBAM).

Об'єктом дослідження стало сільськогосподарське підприємство розміщене в зоні Лісостепу України, що спеціалізується на вирощуванні сільськогосподарських культур (зерново-просапний напрям) за традиційними технологіями. Загальна площа землекористування становить 1000 га. У межах дослідження проведено розрахунок викидів парникових газів від діяльності агропідприємства. Методологічна частина дослідження базується на стандартах Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) [2]. Для оцінки емісійного профілю агропідприємства було використано підхід Scope 1, 2, 3, що дозволяє охопити як прямі викиди (спалювання дизельного палива технікою), так і непрямі (виробництво добрив та логістика).

Результати розрахунку (рис.1) демонструють загальний вуглецевий слід агропідприємства у кількості 1695,98 tCO2e. Найбільша кількість викидів підприємства (70%) надходить від прямих емісій (Scope 1), що значно перевищує інші категорії. Домінування прямих викидів ПГ свідчить про те, що основний тиск діяльності агропідприємства на навколишнє середовище створюється підчас роботи на полях внаслідок споживання пального технікою під час польових робіт та використання азотних добрив.

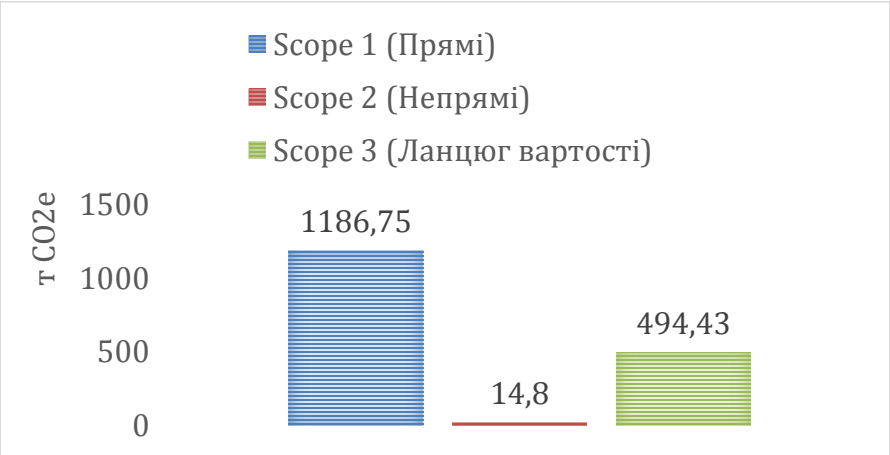


Рис. 2. Результати розрахунку вуглецевого сліду досліджуваного агропідприємства за категоріями (Scope 1, 2, 3)

Значна частка викидів підприємства пов'язана у ланцюгами постачання: виробництвом добрив, логістикою, переробкою продукції (Scope 3). Викиди у

розмірі 494,43 t CO_2e складають суттєву частину загального вуглецевого сліду – 29%. Це вказує на те, що екологічна політика підприємства залежить від постачальників (наприклад, виробників ЗЗР та добрив) та логістичних партнерів. Низька частка непрямих викидів (Scope 2) 0,9% зумовлена не високою автоматизацію процесів та відсутністю виробничих процесів, що потребують використання електроенергії (зрошувальні системи, елеватори).

Отже, оцінка вуглецевого сліду агропідприємства демонструє типову картину для агровиробництва, діяльність якого здійснюється за традиційними технологіями, де основний екологічний тиск створюється безпосередньо в полі або на фермі. Аналіз об’єму та структури викидів ПГ є важливим кроком для підготовки до "зеленого" експорту та впровадження технологій сталого землеробства. Зменшення кількості викидів парникових газів потребує використання підходів точного землеробства, використання біопалива, зміна традиційних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Важливою складовою зниження обсягу викидів ПГ є робота з постачальниками, які впроваджують "зелені" технології та оптимізація логістичних маршрутів. Регулярний аудит цих показників допоможе агропідприємству відповідати вимогам екологічної політики в аграрному секторі для експорту продукції в ЄС [3].

Література

1. Ukraine. Second Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement / United Nations Framework Convention on Climate Change. 2025. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/202511/2%20Ukraine%20NDC2_adj_v2.pdf (дата звернення: 18.04.2026).

2. The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition)

URL: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf (дата звернення: 18.04.2026).

3. Тимощук О. А., Тимощук О. Б., Матвійчук Б.В. Викиди парникових газів від сільськогосподарської діяльності та їх динаміка протягом 1990-2020 років. Ukrainian Journal of Natural Sciences. 2022. №1. С.174–186.

4. Vyshnevskyi V. I. Climate Change in Ukraine and its Consequences. Journal of Landscape Ecology. 2025. P. 150-174. DOI: 10.2478/jlecol-2025-0032.

5. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів за 1990-2022 рр. https://nci.org.ua/ (дата звернення: 18.04.2026)

УДК 502.131.1:631.95:349.6(477)

RED III ТА EUDR ЯК ЧИННИКИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В АГРОСЕКТОРІ УКРАЇНИ

***Боровенський А.С.**, здобувач вищої освіти третього освітньо-наукового рівня;*
***Тітенко Г. В.**, к. геогр. н., доцент,*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

Аграрний сектор України перебуває в умовах одночасної адаптації до європейського ринку, кліматичної політики та безпекових викликів воєнного часу. За цих умов екологічний менеджмент агропідприємств поступово переходить від переважно внутрішнього контролю природоохоронних ризиків до системи доказової відповідності міжнародним регуляторним вимогам. Такі вимоги охоплюють походження сировини, історію землекористування, простежуваність ланцюгів постачання, викиди парникових газів, збереження біорізноманіття та недопущення деградації земель.

Особливого значення для українського агросектору набувають дві регуляторні рамки Європейського Союзу: RED III (Directive (EU) 2023/2413) та EUDR (Regulation (EU) 2023/1115). RED III спрямована на збільшення частки енергії з відновлюваних джерел і водночас посилює критерії сталості для біомаси та біопалива. Для агровиробників це означає необхідність підтвердження того, що сільськогосподарська сировина не пов'язана з деградацією земель, знищенням екосистем із високим вуглецевим запасом або неприйнятним рівнем викидів парникових газів [1].

EUDR формує інший, але взаємодоповнювальний вектор трансформації. Регламент спрямований на недопущення потрапляння на ринок ЄС продукції, пов'язаної з дефорестацією або деградацією лісів після встановленої контрольної дати. Для аграрного бізнесу це створює потребу у впровадженні due diligence - комплексної перевірки походження продукції, що передбачає збір геолокаційних даних, оцінку ризиків, документування законності виробництва та застосування заходів пом'якшення у разі виявлення невідповідностей [2].

Для України значення RED III та EUDR виходить за межі формального виконання експортних вимог. Вони стимулюють зміну самої логіки екологічного менеджменту: від реагування на вже наявні порушення до попереджувального управління ризиками. Аграрне підприємство має доводити не лише якість продукції, а й екологічну прийнятність способу її виробництва. Це передбачає системну перевірку правового статусу земель, аналіз історії землекористування, контроль впливу дренажних і зрошувальних систем, оцінювання ризиків для ґрунтів, водних об'єктів, природних оселищ та територій із високим біорізноманіттям.

Найбільш відчутною зміною стає посилення вимог до простежуваності земельних ділянок. Якщо раніше екологічний контроль часто обмежувався фіксацією фактичних порушень, то в умовах RED III та EUDR необхідною є попередня перевірка правового статусу земель, їх історичного використання і просторового положення щодо лісів, луків, торф'яників, степових ділянок та інших цінних екосистем. Практичним інструментом такого контролю можуть бути кадастрові дані, супутникові знімки, ретроспективний аналіз полів у Google Earth Pro, внутрішні карти господарств та журнали виробничих операцій.

У цьому контексті екологічний менеджмент агропідприємства повинен спиратися не на окремі природоохоронні заходи, а на інтегровану систему критеріїв. Її базовими блоками мають бути: підтвердження сталого статусу земель; недопущення перетворення територій із високою природоохоронною цінністю; оцінка впливу будівництва, меліорації та зрошення; контроль застосування добрив і пестицидів; моніторинг ерозійних процесів; збереження полезахисних смуг; облік викидів парникових газів; документування ланцюгів постачання. Такий підхід наближає екологічний менеджмент до систем управління за ISO 14001:2015, але робить його більш прив'язаним до вимог конкретних ринків і видів продукції [3].

Особливим викликом для України є поєднання євроінтеграційних вимог із наслідками війни. Воєнні дії ускладнюють доступ до земель, обмежують польовий моніторинг, створюють ризики хімічного забруднення ґрунтів, мінування та пошкодження інфраструктури. Водночас саме в таких умовах потреба у доказовій екологічній інформації зростає. Для експортерів агропродукції критичним стає не лише фактичне дотримання вимог, а й здатність підтвердити це документально: через карти полів, протоколи перевірок, результати аудитів, сертифікати, фотодокументацію та простежувані виробничі записи.

RED III посилює увагу до кліматичного блоку екологічного менеджменту. Українські виробники біомаси та сировини для біопалива мають враховувати викиди парникових газів у ланцюгу виробництва, транспортування й переробки. Це актуалізує потребу в обліку вуглецевого сліду, оптимізації використання пального, раціоналізації внесення добрив, скороченні втрат органічної речовини ґрунту та запровадженні практик кліматично орієнтованого землеробства. У перспективі конкурентоздатність агропідприємств буде дедалі більше залежати від здатності кількісно показати не лише врожайність, а й екологічну ефективність виробництва.

EUDR, своєю чергою, зміщує акцент на просторову відповідальність агровиробництва. Продукція повинна мати чітко встановлене походження, а підприємство - доказову базу, що її виробництво не спричинило дефорестації або деградації лісів. Для України, яка має значний експортний потенціал і водночас різноманітну структуру земельного фонду, це означає необхідність розвитку геоінформаційного супроводу агробізнесу, внутрішніх реєстрів земель, регулярного оновлення даних дистанційного зондування та інтеграції екологічних критеріїв у договори з постачальниками.

Управлінська реалізація таких вимог може бути представлена як послідовність етапів: інвентаризація земель і постачальників, ризик-скринінг історії землекористування, формування доказового пакета та періодичний внутрішній аудит. До такого пакета мають входити карти полів, договори, виробничі журнали, матеріали дистанційного зондування, результати перевірок і управлінські рішення щодо усунення ризиків. Це дозволяє поєднати вимоги RED III, EUDR, ISO 14001 та ISCC в єдиній системі, не дублюючи контрольні процедури і не перетворюючи сертифікацію на формальність.

Отже, RED III та EUDR є не лише зовнішніми регуляторними обмеженнями, а й чинниками модернізації аграрного екологічного менеджменту України. Вони формують запит на ризик-орієнтовану, просторово деталізовану і документально підтверджену систему управління. Її впровадження дозволить українським агровиробникам зберігати доступ до ринків ЄС, зменшувати екологічні ризики, підвищувати інвестиційну привабливість і поступово переходити від формальної відповідності до реальної екологічної сталості виробництва.

Практичним результатом такої трансформації має стати розроблення на рівні підприємств матриць екологічних критеріїв і ризиків, у яких для кожного аспекту визначаються об'єкт моніторингу, потенційний ризик, метод контролю, нормативна основа та категорія значущості. Саме така матриця може стати проміжною ланкою між вимогами RED III, EUDR, ISO 14001, ISCC та повсякденною управлінською практикою агропідприємства [4]. Для українського агросектору це особливо важливо, оскільки дає змогу перетворити складні європейські вимоги на зрозумілу систему регулярних дій: перевірити землю, оцінити ризик, задокументувати результат, скоригувати управлінське рішення.

Таким чином, інтеграція RED III та EUDR до системи екологічного менеджменту агросектору України є передумовою не лише збереження експортних можливостей, а й формування нової культури управління природними ресурсами. Вона поєднує правові, кліматичні, земельні та біорізноманітнісні аспекти в єдину логіку сталого виробництва. У найближчій перспективі успішними будуть ті агропідприємства, які зможуть перейти від фрагментарного екологічного контролю до повної простежуваності та доказової відповідності, орієнтованої на вимоги європейського зеленого переходу.

Література

1. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources // Official Journal of the European Union. - 2023. - URL: https://eur-lex.europa.eu.

2. Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council on deforestation-free supply chains // Official Journal of the European Union. - 2023. - URL: https://eur-lex.europa.eu.

3. ISO 14001:2015. Environmental management systems - Requirements with guidance for use. - Geneva : International Organization for Standardization, 2015. - 38 p.

4. ISCC. International Sustainability and Carbon Certification. - ISCC System GmbH, 2023. - URL: https://www.iscc-system.org.

УДК 528.8:631.4

ВЕРИФІКАЦІЯ ТА КОРЕГУВАННЯ ПОВНОТИ ГЕОПРОСТОРОВОЇ БАЗИ ДАНИХ ПОШКОДЖЕНЬ АГРОЛАНДШАФТІВ ХАРКІВСЬКОГО РАЙОНУ

***Немошкалов О.М.**, аспірант, **Ачасов А. Б.**, д-р с.-г. наук, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна*

Процес ідентифікації та оцінки наслідків бойових дій на території Харківського району Харківської області вимагає залучення високотехнологічних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). В умовах активної фази конфлікту наземні обстеження часто є неможливими через мінну небезпеку та загрозу повторних обстрілів, що робить супутникову зйомку безальтернативним джерелом об'єктивної інформації. За результатами дешифрування космічних знімків, що отримані за допомогою сузір'я малих супутників "Doves" (проєкт PlanetScope), на території Харківського району було зафіксовано 15 588 місць влучань боєприпасів.

Одним із центральних методологічних аспектів дослідження є забезпечення репрезентативності та повноти сформованої бази даних. Очевидним є припущення, що кількість ідентифікованих за допомогою дистанційного зондування вирв є значно нижчою за їхню фактичну кількість на досліджуваних територіях. Дана розбіжність зумовлена низкою об’єктивних та суб’єктивних чинників.

Першим фактором виступає технічне обмеження просторової розрізненості супутникових знімків у стеку PlanetLabs. За умови роздільної здатності 3 м на піксель достовірна фіксація кратерів від влучань малокаліберних боєприпасів стає малоймовірною. Другою причиною неповноти геоданих є метеорологічні умови, зокрема щільна хмарність, що характерна для певних сезонів. Третьою причиною є суб’єктивний фактор операторських помилок при опрацюванні великих масивів візуальної інформації.

Попри ці обмеження, досягнення максимальної повноти даних є критичним для якісного моніторингу агроландшафтів та проведення екологічного аудиту. Зокрема, дрібні вирви є індикаторами потенційного хімічного забруднення ґрунтів продуктами детонації.

З погляду методологічної досконалості, оптимальним способом формування вичерпної бази геоданих було б проведення суцільного дешифрування космічних знімків надвисокої просторової розрізненості із застосуванням алгоритмів «комп’ютерного зору». Формування повного часового стека деталізованих зображень із добовою періодичністю, наявність адаптованих нейронних мереж, а також залучення значних інтелектуальних та часових ресурсів дозволили б вирішити завдання ідентифікації пошкоджень із максимальною повнотою. Однак на сучасному етапі реалізація такого підходу в масштабах цілого регіону є малоймовірною.

З огляду на існуючі технічні та ресурсні обмеження, найбільш раціональним і прикладним вбачається впровадження «корегувального» підходу. Дана методика передбачає уточнення параметрів сформованої бази даних шляхом застосування

розрахункових коефіцієнтів. Ці коефіцієнти відображають співвідношення між кількістю вирв, зафіксованих за допомогою знімків PlanetLabs на репрезентативних ділянках, та фактичною кількістю об’єктів, виявлених на тих самих територіях за допомогою відкритих знімків надвисокої роздільної здатності (сервіси Google Earth Pro, Bing Maps).

Рекогносцирувальне обстеження показало, що покриття території дослідження детальними знімками за 2022 рік становило лише близько 20%. Це унеможливило прямий підрахунок пошкоджень для всієї площі Харківського району. Іншим висновком цього етапу досліджень був очикуваний факт, що щільність виявлених об'єктів на знімках Maxar/ WorldView-03 була кратно вищою порівняно зі знімками Planet.

Подальші етапи дослідження були такими: 1) територію було розбито на умовні чарунки (сітку) площею 1 км кв кожна; 2) було відібрано 38 чарунок загальною, для яких наявні архівні космічні зфнімки високої роздільної здатності; 3) у межах кожної обраної чарунки проведено паралельну фіксацію кількості вирв за двома незалежними джерелами: знімками PlanetLabs і знімками високої роздільної здатності.

Розрахунки показали наявність тісного кореляційного зв'язку (r = 0,72). Виведено рівняння лінійної регресії:

y = 163,2971 + 3,914 * x

де: y – прогнозована кількість вирв; x – кількість вирв, зафіксованих на знімках PlanetLabs.

Застосування моделі геотрансферу до всієї території дозволило розрахувати інтегральну ймовірну кількість вирв – 61 175 об’єктів.

Порівняльний аналіз результатів з даними інших дослідників (Oleksandr Bonchkovskyi та ін., 2025) показав наступне. Об’єкт нашого дослідження обмежений межами Харківського району площею 3,2 тис. кв. км, що у 3,5 раза менше за площу полігону в цитованій роботі (11,2 тис. км кв). Для порівняння масштабів екстраполюємо отриманий нами показник у 61 175 об’єктів (розрахований за моделлю геотрансферу) на аналогічну площу, застосувавши відповідний коефіцієнт. Отриманий результат — 214 112 вирв — є фактично вдвічі меншим за показник колег.

Така розбіжність є цілком очікуваною та обґрунтованою з огляду на наступні чинники. По-перше, наше дослідження охоплювало всю територію Харківського району суцільним масивом, тоді як колеги фокусувалися виключно на зонах найбільш інтенсивних бойових дій, де концентрація влучань є аномально високою. По-друге, враховуючи просторову неоднорідність мілітарного впливу, кореляція між отриманими результатами є цілком прийнятною. Зіставлення цих цифр дозволяє стверджувати, що наші розрахунки, базуючись на ширшій, але менш інтенсивно ураженій вибірці, адекватно відображають загальну картину деградації агроландшафтів і загалом узгоджуються з літературними даними.

УДК: 636.03: 633.8

ВПЛИВ КОМПОЗИЦІЙ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З ДОДАВАННЯМ ЕФІРНИХ ОЛІЙ НА ПОКАЗНИКИ РОСТУ І ВИТРАТИ КОРМУ У МОЛОДНЯКУ ГУСЕЙ

***Килимнюк О.І.**, к. с.-г. н., Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, м. Вінниця, Україна*

Найбільш часто досліджуваними фітобіотиками в раціоні птиці були орегано, часник, чебрець, розмарин, чорний перець, гострий червоний перець (HRP), шавлія і кориця [1]. Екстракт кориці в основному містить ефірні масла, полісахариди, поліфеноли та інші речовини. Коричний альдегід як харчовий протигрибковий засіб нетоксичний або малотоксичний для організму тварин і людини, має сильну пригнічувальну дію на розмноження мікроорганізмів [2]. Природний екстракт капсаїцину у раціонах бройлерів сприяє підвищенню інтенсивності росту, зміцнює імунітет і покращує якість м'яса [3]. Добавки екстракту розмарину покращують ріст і якість м'яса м'ясних качок [4].

Наукові досліди із годівлі молодняку гусей проводили згідно методології та організації наукових досліджень в тваринництві. Групи формувалися із добового молодняку по 50 голів у кожній. Для годівлі птиці було розроблено і виготовлено два види комбікорму стартовий з періодом використання від 1 до 28 доби і ростовий з 29 до 42 доби. Комбікорм за показниками поживності і хімічного складу відповідав віковій групі.

У першому досліді гусенятам згодовували три раціони. Контрольний, який складався із спеціально розроблених комбікормів (старт, гроуер) за періодами росту. Гусенята дослідних груп отримували аналогічні за складом комбікорми але з введенням суміші до якої входили материнка звичайна (*Origanum*), коричник цейлонський, перець чілі. Крім того молодняку гусенят третьої дослідної групи у склад комбікорму додатково вводили ефірну олію розмарину. Інтенсивність росту та витрати корму молодняку гусей отримані за період досліду наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники росту молодняку гусей (дослід № 1)

Показники	1- контрольна	2- дослідна	3- дослідна
Середня жива маса на початок досліду, г	118±1,8	117,5±2,0	118,2±2,1
Середня жива маса на кінець досліду, г	2861,4±72,2	2984,0±60,6	3125,8±75,8
Абсолютний приріст, г	2743,4±73,1	2866,5±62,3	3007,6±73,7
Середньодобовий приріст, г	65,32±2,0	68,25±1,9	71,61±2,1

Витрати корму на 1 голову, кг	3,58	3,58	3,62
Витрати корму на 1кг приросту, кг	1,3	1,25	1,2
Збереженість поголів'я, %	90	96	100

Результати отримані за період досліду вказують про вищу на 6 % збереженість гусенят у другій дослідній групі. А у третій дослідній групі було повністю збережене поголів’я птиці. Гусенята другої дослідної групи мали вищі середньодобові прирости на 4,5 % та нижчі витрати корму на 3,8 % порівняно з аналогами контрольної групи. Поряд з високим показником збереженості гусенят третьої групи слід звернути увагу на їх високу інтенсивність росту і ефективність використання корму. За період досліду середньодобовий приріст живої маси птиці цієї групи склав 71,6 г, що на 9,6 % більше порівняно з приростом гусенят контрольної групи. Витрати корму також були нижчими у гусенят, які додатково отримували ефірну олію розмарину. Конверсія корму за згодовування гусенятам комбікорму такого складу була нижчою на 7,7 %.

У другому досліді молодняк гусей контрольної групи отримував основний раціон. Який складався з спеціально розроблених комбікормів (старт, гроуер) за періодами росту. Молодняк дослідних груп отримував до складу базового комбікорму суміш до якої входили коричник цейлонський, перець чілі, розмарин. Гусенятам третьої дослідної групи у складі комбікорму додатково вводили ефірну олію орегано. Показники росту та витрати корму молодняку гусей отримані за період досліду наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Показники росту молодняку гусей (дослід № 2)

Показники	1- контрольна	2- дослідна	3- дослідна
Середня жива маса на початок досліду, г	112,0±1,4	111,2±1,7	111,8±1,6
Середня жива маса на кінець досліду, г	2671,2±62,8	2774,5±62,1	2852,4±61,5
Абсолютний приріст, г	2559,2±61,5	2663,3±63,3	2740,6±62,8
Середньодобовий приріст, г	60,93±1,5	63,41±1,2	65,25±1,4
Витрати корму на 1 голову, кг	3,80	3,80	3,80
Витрати корму на 1кг приросту, кг	1,48	1,42	1,38
Збереженість поголів'я, %	96	100	100

Слід відмітити, що у дослідних групах було повністю збережене поголів'я. За результатами проведення досліду найвищий середньодобовий приріст отримано у третій дослідній групі. Він склав 65,3 г, що на 7,1 % більше ніж у молодняку із контрольної групи. Дещо нижчий був приріст гусенят із другої групи, але він також переважав аналогів з контрольної на 4,1 %. Витрати корму за період досліду у контрольній і дослідній групах на одну голову склали по 3,8 кг. Проте на 1 кг приросту гусенята другої дослідної групи витрачали на 4,0 % менше корму. У гусенят третьої дослідної групи цей показник був ще нижчим і складав 6,7 %. Це свідчить про позитивний вплив додаткового використання у складі комбікорму ефірної олії орегано.

У третьому досліді гусенята отримували також три раціони. Основний (контрольний) складався із спеціально розроблених комбікормів (старт, гроуер) за періодами росту. Гусенята дослідних груп отримували аналогічні за складом комбікорми але з введенням суміші ефірних олій розмарину і часнику (2 група) та орегано та цитрусу (3 група). Показники росту та витрати корму молодняку гусей отримані за результатами досліду наведені в таблиці 3.

Поголів'я гусенят дослідних групп, які отримували у складі комбікормів суміші ефірних олій протягом досліду було повністю збережене. У контрольній групі збереженість птиці була нижчою на 6,0 %. За період досліду найбільший середньодобовий приріст встановлено у гусенят другої дослідної групи, який за результатами досліду склав 71,82 г, що на 8,4 % більше ніж у молодняку із контрольної групи.

Таблиця 3

Показники росту молодняку гусей (дослід № 3)

Показники	1- контрольна	2- дослідна	3- дослідна
Середня жива маса на початок досліду, г	114,5±1,6	114,8±1,7	115,0±1,9
Середня жива маса на кінець досліду, г	2897,2±66,3	3106,6±62,8	3131,6±68,4
Абсолютний приріст, г	2782,7±65,8	2991,8±63,5	3016,6±67,6
Середньодобовий приріст, г	66,25±1,5	71,23±1,6*	71,82±1,8
Витрати корму на 1 голову, кг	3,90	3,90	3,90
Витрати корму на 1кг приросту, кг	1,40	1,30	1,29
Збереженість поголів'я, %	94	100	100

Витрати корму за період досліду у контрольній і дослідній групах склали по 3,9 кг комбікорму на голову. Проте гусенята дослідних груп на 1 кг приросту витратили на 7,1-7,8 % менше корму порівняно з контрольними.

Результатами досліду встановлено, що використання у складі комбікормів для молодняку гусей суміші ефірних олій сприяє збільшенню інтенсивності росту живої маси птиці (7,5-8,4 %), зниженню витрат корму (7,1-7,8 %) та збереженню поголів'я.

Література

1. Килимнюк О.І., Хіміч О.В., Лаптєєв О.О. Оцінка дії біодобавки з материнки звичайної (*Origanum*), коричника цейлонського, перцю чілі та розмарину на організм птиці. Корми і кормовиробництво. 2024. №98. С. 152-161. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202498-14

2. Prasastha Ram, V., Yasur, J., Abishad, et al. Antimicrobial Efficacy of Green Synthesized Nanosilver with Entrapped Cinnamaldehyde against Multi-Drug Resistant Enteroaggregative Escherichia coli in Galleria mellonella. Pharmaceutics 2022, 14, 1924. https://doi.org/10.3390/ pharmaceutics14091924.

3. S.J. Liu, J. Wang, T.F. He, H.S. Liu, X.S. Piao. Effects of natural capsicum extract on growth performance, nutrient utilization, antioxidant status, immune function, and meat quality in broilers. Poultry Science. Volume 100, Issue 9.

4. Yuezhou Yao, Yang Liu, Chuang Li, Xuan Huang, Xu Zhang, Ping Deng, Guitao Jiang, Qiuzhong Dai. Effects of rosemary extract supplementation in feed on growth performance, meat quality, serum biochemistry, antioxidant capacity, and immune function of meat ducks. 2023 Poultry Science 102:102357 https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102357.

СЕКЦІЯ 4. УРБОЕКОЛОГІЯ, ЗЕЛЕНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ЕКОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ МІСТ
URBAN ECOLOGY, GREEN INFRASTRUCTURE AND ECOLOGICAL TRANSFORMATION OF CITIES

УДК 502.131.1:711.4:628.2

BLUE AND GREEN INFRASTRUCTURE IN CITIES: MULTIPLIED BENEFITS FOR THE SOCIETY

Utkina K.*,PhD*[1]*,* ***Ashley R. M.****, Prof.*[2]*,* ***Sun Z.****, PhD*[3]*,* ***Adhikari U.***[1]*,*
Deak Sjöman J., PhD[3]*,* ***Randrup T. B.****, Prof*[3]*,*
Blecken G.-T.*, Prof.*[1] ***Viklander M.****, Prof.*[1]
[1] *Luleå University of Technology, Luleå, Sweden*
[2] *University of Sheffield, Sheffield, UK*
[3] *Swedish University of Agricultural Sciences, Loma, Sweden*

Nature-based solutions - solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience [1].

Blue-Green Infrastructure (BGI) in urban areas is primarily designed for stormwater management, but it also offers multifunctional benefits that support environmental, social, and economic sustainability. **BGI facilities** are a man-made blue and green facility for (inter alia) stormwater management, located in an urban area. Currently, city planners are focused on integration of BGI into the city landscape.

The present conference contribution builds upon two recent peer-reviewed publications [2, 3] and is aimed at advance the dissemination of methodological practice related to the assessment of benefits generated by BGI for both urban systems and society. By synthesizing insights from these studies, the paper aims to strengthen the evidence base supporting the evaluation and integration of BGI within contemporary urban planning and decision-making processes.

In our research, we grouped BGI facitilies as *Natural* (*Nat*) for "simpler" BGI facilities with minimal engineering, including swales, open dry detention facilities, sub-surface detention facilities, floating curtain sedimentation facilities, sedimentation ponds, and infiltration facilities and *Engineered* (*Eng*) for facilities requiring more complex engineering and construction techniques including bioretention facilities, rain gardens, stormwater pits, pre-cast treatment facilities, green roofs, and constructed wetlands. The full list of BGI facilities and their short descriptions can be found in [2, 3].

For the study, we have selected three types of areas:

Residential suburb – Östersund - mix of industrial (to the south) and residential (to the north) areas with mainly single-family homes.

New urban housing – Uppsala - area is a planned new suburb. According to the Fördjupad översiktsplan, 2021, the new urban housing area will mainly have 3-5 storey buildings.

Inner city – Davidshall, Malmö - buildings are mostly 3-4 stories residential ones with small businesses on the ground floor. Many buildings are with basement.

On the first step we made stakeholders analysis that shows the following:

- There are four groups of stakeholders: local residents, water departments and municipalities, local business and health care bodies.
- Funding for BGI construction and maintenance is received only from local residents (through taxes) and municipalities (they are responsible for city development and water quality/quantity control and stormwater management). The most important impacts were found to be associated with improved amenities, health, educational benefits, flood risk reduction, and increased groundwater recharge.
- Benefits are distributed across all stakeholder groups; however, several groups exhibit limited awareness of the benefits they receive, and the overall decision-making process is characterized by insufficient communication and dialogue among stakeholders. This lack of coordinated interaction constrains the development of shared problem framings and reduces the effectiveness and legitimacy of BGI planning outcomes.

More details are presented in [2].

On the second step, for each studied sites, we developed seven **BGI alternatives** (systems for catchment-scale stormwater management that include one or more BGI facilities). BGI alternatives were developed using the *Spatial scale*, which defines three categories: *Decentralised* (*Dec*) alternative BGI facilities are distributed across the catchment; *End-of-pipe* (*End*) alternatives have a central facility located at or very near the point where the runoff enters the receiving water body; and *Decentralised retention plus End-of-pipe quality treatment* (*Dec/End*) alternatives have both decentralised facilities and a central end-of-pipe facility. Additionally, there are alternatives with facilities distributed across the catchment area to manage stormwater *Infiltration* (*Inf*) rather than discharge (*Nat-DecInf*).

To effectively support decision-makers and urban planners, it is essential to systematically identify and evaluate the full spectrum of potential benefits generated by BGI facilities. Among the available assessment frameworks, this study employed the Benefit Estimation Tool - B£ST [4], developed by CIRIA, which provides a structured, evidence-based methodology for quantifying environmental, social, and economic outcomes associated with BGI interventions. We conducted detailed B£ST evaluations for the benefit categories and caclculated the *Present Value of Benefits* provides a single number representing the overall benefit generated by each BGI alternative (Fig.1).

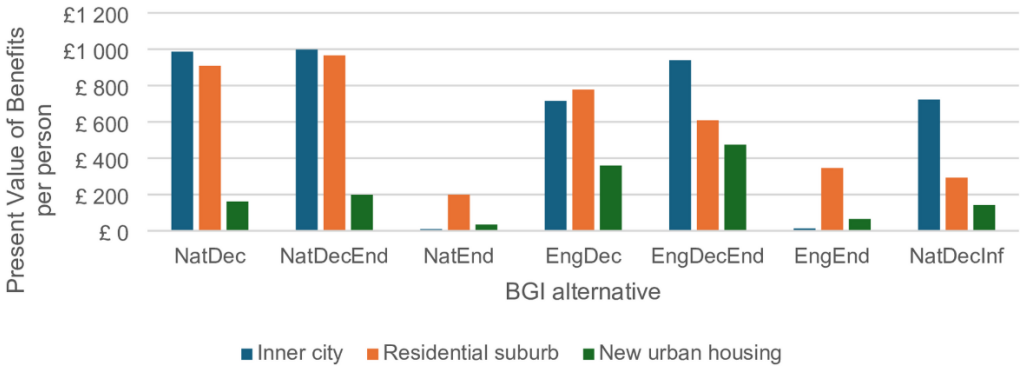


Fig. 1. Present Value of Benefits (per person living in the catchment area) for each BGI alternative at the three studied sites [3]

The greatest benefits in the ***Residential Suburb*** were provided by the *NatDec* and *NatDecEnd* alternatives (based on open dry detention and swales), which offered similar performance. The *EngDec* alternative, based on bioretention and swales, also performed well at this site. The ***Inner City*** site benefited more than any other site from the *NatDec* and *NatDecEnd* alternatives (subsurface detention and open dry detention), and also from *EngDecEnd* alternative (stormwater tree pits, rain gardens etc.). The ***New Urban Housing*** area accrued the least benefits from every alternative considered. The *NatEnd* (sedimentation pond) and *EngEnd* (bioretention facility) alternatives are notable as they are the only ones that provided greater benefits in the Residential Suburb than in other areas.

These findings underscore the importance of contextualizing BGI planning within the characteristics of the receiving environment - specifically catchment typology, existing land cover, and population density. Implementing new BGI facilities in areas already endowed with substantial green space tends to generate comparatively lower marginal benefits than in densely built-up or highly impervious areas.

In the Inner City and Residential Suburb areas, sub-surface detention, open dry detention, and swales (*NatDec* and *NatDecEnd* alternatives) yielded the greatest benefits. Conversely, bioretention, rain gardens, green roofs, and constructed wetlands (*EngDec* and *EngDecEnd*) yielded greater overall benefits in New Urban Housing developments. *NatEnd* alternatives (e.g. floating sedimentation in Inner City areas or sedimentation ponds in Residential Suburbs and New Urban Housing areas) and *EngDec* alternatives (e.g., pre-cast treatment facilities in Inner City areas, rain gardens in Residential Suburbs, and constructed wetlands in New Urban Housing) yielded the least benefits in all three catchment types.

Thus, BGI constitute a strategically significant element of contemporary urban infrastructure, offering a diverse array of ecological, hydrological, and socio-economic benefits to urban systems and their populations. The selection, design, and spatial location of specific BGI facilities should be guided by systematic, context-sensitive analysis rather than ad hoc decision-making. Accordingly, rigorous empirical assessment and structured stakeholder engagement are essential prerequisites for ensuring that implemented

measures align with local environmental conditions, governance priorities, and community needs.

References:

1. Nature-based solutions. European Commission. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en (Accessed: 20-05-2026).

2. Utkina, K., Ashley, R.M., Sun, Z. *et al.* Assessment of blue green infrastructure implementation schemes for multifunctional urban stormwater management: a case study in three Swedish cities. *Socio Ecol Pract Res* (2026). https://doi.org/10.1007/s42532-026-00253-4 .

3. Utkina K, Ashley R, Zhengdong S, Adhikari U, Kali S, Deak Sjöman J, Randrup TB, Viklander M, Blecken G-T (2025) Valuing structured alternatives for retrofitting blue-green infrastructure at a catchment scale using the Benefit Estimation Tool (B£ST). *Blue-Green Syst* 7(1):139–155. https://doi.org/10.2166/bgs.2025.022 .

4. CIRIA (2019) B£ST (benefits of SuDS tool). https://www.susdrain.org/resources/best.html (Accessed: 20-05-2026).

УДК 711.8

ПРИНЦИПИ АЛГОРИТМІЧНОГО АНАЛІЗУ МІСТОБУДІВНОГО КОНТЕКСТУ ЯК ПЕРЕДУМОВА ЕКОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ У ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ

***Карандюк Д. А.**, Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ, Україна*

Постановка проблеми. Будівельний сектор відповідає приблизно за 37% глобальних викидів парникових газів, пов'язаних з енергетикою [1]. Громадські будівлі, з огляду на їхню масштабність і публічний характер експлуатації, посідають у цьому балансі непропорційно велику частку. Проте екологічна якість об'єкта визначається не лише конструктивними рішеннями, а й тим, наскільки він узгоджений з природним каркасом свого оточення. Саме ця проблематика, а саме передпроєктний аналіз контексту, традиційно залишається найслабшою ланкою архітектурного процесу. Актуальність дослідження зумовлена потребою інтегрувати сучасні алгоритмічні засоби у методику формування архітектурно-планувальної структури громадських будівель з пріоритетом екологічної відповідності контексту.

Аналіз досліджень попередників. Історично аналіз містобудівного оточення спирався на візуально-когнітивні методи. К. Лінч у праці «The Image of the City» (1960) запропонував картографувати місто через п'ять елементів: шляхи, межі, райони, вузли, орієнтири [2]. К. Александер із колегами у «A Pattern Language» (1977) систематизував паттерни просторової організації, частина з яких прямо стосувалася зв'язку будівлі з природним оточенням [3]. Ці методи вимагали від архітектора значного часу на обхід території, замальовки, інтерв'ю; їхня глибина залежала від ерудиції автора, а відтворюваність залишалася низькою.

Цифрова доба змінила цей процес. Просторовий синтаксис Б. Хіллера (1984) формалізував конфігураційний аналіз міста у кількісну модель [4]. ГІС-платформи на початку 2000-х років інтегрували геопросторові дані у єдине середовище. Сьогодні нейромережеві алгоритми семантичної сегментації супутникових знімків, зокрема на основі архітектури U-Net [5, с. 234–241], уможливлюють картографування зеленого покриву з точністю до окремого дерева. М. Бетті у праці «The New Science of Cities» (2013) узагальнив підхід до міста як складної інформаційної системи, піддатливої кількісному моделюванню [6].

Виклад основного матеріалу. Алгоритмічний аналіз містобудівного контексту має передувати формуванню архітектурного задуму, а не супроводжувати його. Майданчик припиняє бути площиною, обмеженою нормативними лініями, і постає як накладення інформаційних шарів: гідрологічного, ботанічного, кліматичного, антропогенного, історико-культурного. Гідрологічний шар моделюється за цифровими картами рельєфу. Ботанічний отримується через семантичну сегментацію знімків Sentinel-2 з просторовою

роздільною здатністю 10 м. Антропогенний шар формується через синтаксичний аналіз вуличної мережі на основі відкритих даних OpenStreetMap. Об'єднання шарів у спільній ГІС-моделі формує доказову базу, з якою працює архітектор.

Просторовий синтаксис, сформульований Б. Хіллером і Дж. Хенсон, уможливлює кількісну оцінку інтеграції та зв'язності елементів вуличної мережі. Для громадської будівлі це означає можливість прогнозувати, наскільки майбутній об'єкт «прочитується» з прилеглих просторів і які ділянки зазнають найбільшого антропогенного тиску. У застосуванні до екологічної проблематики синтаксичний аналіз виявляє зони, де концентрація відвідувачів загрожує прилеглому природному масиву, що дозволяє своєчасно коригувати конфігурацію підходів, входів, буферних смуг. Сам Хіллер не розглядав екологічну інтеграцію як першочергове завдання методу; його розширення у цьому напрямі є окремим прикладним завданням, яке розв'язується на стику архітектурознавства та ландшафтної екології.

Громадські об'єкти, визнані зразками екологічно відповідальної архітектури, формувалися з урахуванням уже існуючої «зеленої» та «синьої» інфраструктури, а не накладалися на неї. Парк High Line у Нью-Йорку (J. Corner Field Operations, Diller Scofidio + Renfro, 2009) реінтерпретував покинуту залізничну естакаду завдовжки близько 2,33 км як ландшафтний коридор, змінивши екологічну логіку прилеглих кварталів Челсі та Мітпекінг. Oslo Opera House (Snøhetta, 2008) розчинив архітектурний об'єм у береговій лінії фіорду Б'єрвіка, перетворивши покрівлю на публічний схил замість бар'єра. В обох випадках проєктне рішення спиралося на попередній картографічний та сценарний аналіз, тобто на дії, які сьогодні ефективно алгоритмізуються. Феноменологічний вимір залишається при цьому несумірним: алгоритм фіксує, що покрівля Опери стає продовженням пішохідного простору, однак те, як людина відчуває поступовий перехід від міста до води, не є завданням алгоритму.

Для українських міст алгоритмічний аналіз містобудівного контексту набуває особливої ваги у зв'язку з програмами повоєнного відновлення, які передбачають будівництво нових громадських об'єктів: шкіл, лікарень, культурних хабів. Кожне таке рішення впливатиме на стан міського екокаркасу на десятиліття вперед, що актуалізує потребу у доказовій передпроєктній методиці. Водночас якість алгоритмічної роботи прямо залежить від повноти відкритих геопросторових даних, а тут українські джерела поступаються європейським за рівнем деталізації. Це є обмеженням, що виходить за межі окремого дослідження і потребує координованої роботи на рівні державних реєстрів та муніципальних ГІС-платформ.

Алгоритм фіксує закономірності. Архітектурне рішення надає їм просторового та образного втілення. Зведення передпроєктного аналізу до автоматизованої процедури перетворює громадську будівлю на розв'язок задачі, тоді як її призначення, за визначенням, ширше. Саме тому принцип провідної ролі

архітектора у перекладі кількісних даних у якісні просторові рішення є не технічним уточненням, а методологічною умовою.

Висновки. Алгоритмічний аналіз містобудівного контексту, реалізований через поєднання просторового синтаксису, ГІС-моделювання та нейромережевої обробки супутникових даних, формує доказову основу екологічно відповідального розміщення громадських будівель. Принципи його застосування охоплюють: багатошарову інтерпретацію контексту; пріоритет існуючого природного каркасу над проєктованим об’ємом; синтаксичне прогнозування антропогенного тиску на прилеглі природні ділянки; збереження архітектора як суб’єкта просторового рішення. Масштаб практичного впровадження залежить від стану відкритих геопросторових даних і методологічної підготовки проєктних команд, що окреслює напрям подальших досліджень.

Ключові слова: архітектурно-планувальна структура, громадські будівлі, штучний інтелект, просторовий синтаксис, ГІС-аналіз, екологічна інтеграція, природний каркас міста.

Література

1. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2022.
2. Lynch K. The Image of the City. Cambridge, MA : MIT Press, 1960. 194 p.
3. Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M. A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. New York : Oxford University Press, 1977. 1171 p.
4. Hillier B., Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge : Cambridge University Press, 1984. 281 p.
5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9351. P. 234–241.
6. Batty M. The New Science of Cities. Cambridge, MA : MIT Press, 2013. 496 p.
7. Copernicus Land Monitoring Service. European Environment Agency. URL: https://land.copernicus.eu

УДК 519.6:504.3.054

ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ «ЗЕЛЕНИХ» ЗУПИНОК В ЛУЦЬКУ

***Федонюк В.В.**, к. геогр. н., Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна*

***Іванців Я.В.**, **Толстушко А.М.**, КУ «Волинська обласна Мала академія наук»*

Зміни клімату, що супроводжуються зростанням числа і тривалості жарких періодів в Україні, активізацією стихійних небезпечних метеорологічних явищ і процесів, викликають потребу у розробці заходів адаптації до них для наших міст. Одним з таких заходів у світовій практиці містобудування є створення «зелених» зупинок громадського транспорту [2, 5, 6]. «Зелені» зупинки в містах забезпечують зменшення спеки влітку, надають додатковий захист від вітру та сильних опадів, створюють ефект зниження негативного впливу смогів різного типу на пасажирів під час очікування ними громадського транспорту. «Зелені» зупинки також є естетично привабливим елементом малої міської архітектури та цікавим об'єктом екологічного туризму [1, 6].

В Україні на даний час реалізовано дуже небагато проєктів таких зупинок, один з них – дві «зелені» зупинки у Львові з досить мінімалістичним дизайном [3, 4]. Тому актуальним завданням є розробка та моделювання таких об'єктів малої міської транспортної інфраструктури, зокрема, для Луцька – міста, яке очолює всеукраїнські рейтинги комфортності урбопростору та його сприятливості для життя мешканців, в тому числі за екологічними критеріями.

Тому метою даного дослідження був аналіз екологічних параметрів та пасажирського трафіку зупинок громадського транспорту в Луцьку для розробки проєкту «зелених» зупинок. Основні завдання дослідження: 1) аналіз наукової літератури за темою, вивчення досвіду створення «зелених» зупинок в світі та Україні; 2) дослідження параметрів екологічного стану та вибір зупинок громадського транспорту в Луцьку для реалізації проєкту; 3) моделювання «зеленої» зупинки з мерчем літературних героїв «Лісової пісні» Лесі Українки в її дизайні (як символу Волинського краю) та підбір рослин для неї; 4) просування проєкту, його популяризація з метою впровадження.

Здійснено обстеження та екологічну оцінку сучасного стану 16 зупинок громадського транспорту у Луцьку (параметри, що враховувалися: пасажиропотік на зупинці, озеленення прилеглої території, розміщення у межах міста по відношенню до туристичних об'єктів, кореляція з наявними планами реконструкції міських кварталів Луцька та інше). Методика оцінки трафіку і екостану зупинки громадського транспорту була розроблена авторами дослідження. За результатами обстеження вибрано три міські зупинки, які є найбільш перспективними для трансформації їх у «зелені». Основні дизайнерські рішення розробленого проєкту представлено на рис. 1.



Рис. 1. Концепція «зеленої» зупинки в Луцьку (художні ковані елементи виконані за мотивами драми – феєрії «Лісова пісня» Л. Українки).

Примітка: на нижньому фото – сучасний зовнішній вигляд однієї із зупинок, що обрана для реалізації проєкту.

Результати наукового дослідження та висновки:

1) обстежені 16 зупинок громадського транспорту в Луцьку згруповано за категоріями: виявлено 7 зупинок з високим, 7 з середнім та 2 з напруженим пасажиропотоком, який змінюється від 166 до 590 чол./год; в цілому пасажиропотік на зупинках є вищим у вечірні пікові години;

2) обрано три зупинки як найбільш перспективні для реалізації проєкту «зеленої» зупинки: 1. Центр, Драмтеатр (проєкт: зупинка «Лісова пісня»); 2. ТРЦ «Промінь» (проєкт: зупинка «Той, що греблі рве»; 3. ТЦ «ТАМ ТАМ» (проєкт: зупинка «Мавка і Лукаш»); вибір було виконано за такими ознаками: інтенсивність пасажиропотоку та екологічний стан; розміщення в туристично привабливих локаціях, поблизу транспортних вузлів (авто- та залізничний вокзали міста); відсутність або мінімальне озеленення діючої зупинки; майбутнє гармонійне поєднання зупинки після її трансформації у «зелену» з навколишнім урбопростором;

3) розроблено авторську концепцію та змодельовано технічну конструкцію «зеленої зупинки» з мерчем літературних героїв «Лісової пісні» Лесі Українки, як символу Волині;

4) здійснено науково обгрунтований підбір декоративних рослин для озеленення зупинки;

5) проєкт потребує громадського обговорення та залучення зацікавлених сторін для його практичної реалізації.

Література

1. Конушева, К. & Косик, О. Сучасні тенденції та основні напрями ландшафтного благодіювання транспортної інфраструктури міста (2024). *Теорія і практика дизайну*. (32). 209 – 219. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.25 (дата звернення: 13.06.2025).

2. Косик, О.І. & Летік, К.В. Формування комфортного міського середовища засобами озеленення (2021). *Theory and practice of design*. 2 (23). 134 – 140. DOI: https://doi.org/10.18372/2415-8151.23.16279 (дата звернення: 30.10.2025).

3. Кучерявий, В. (2005). Озеленення населених місць: підручник. Львів: Світ, 456.

4. Солоненко, В. & Ватаманюк, О. Класифікація видів озеленення в ландшафтному будівництві (2017). *Лісове та садово-паркове господарство.* К., 5. 43 – 48.

5. Чопик, Ю. & Олійник, О. (2019). Розвиток органічної архітектури на сучасному етапі. *Теорія та практика дизайну*. К., 18. 82 – 89.

6. Федонюк, В.В. & Федонюк, М.А. Проєкт організації системи «зелених зупинок» у Луцьку (2025). *Green construction (Зелене будівництво).* Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, 13 – 14 травня 2025 р. Київ, КНУБА. 313 – 316. URL: https://surl.li/vtovfr (дата звернення: 27.09.2025).

УДК 712.4:582.47:504.06

ВІКОВІ ДЕРЕВА У МІСТАХ: ВИГОДИ ТА ЗАГРОЗИ (КЕЙС м.ЛЬВОВА)

***Шпаківська І.М.**, Інститут екології Карпат НАН України,*
м. Львів, Україна

На першому місці у європейських країнах – дерево, а не інфраструктура. Ландшафтне проєктування дерев та кущів здійснюють з урахуванням змін клімату та розбудови міста. Усі ці нормативи прописані у спеціальній стратегії. У 2019 році міжнародна команда арбористів завершила роботу над трьома документами:

Tree Planting Standard – присвячений правилам посадки дерев у місті;

Tree Pruning Standard – присвячений обрізці та догляд;

European Cabling & Bracing Standard – присвячений специфіці фіксації крони.

Серед країн Євпропейського Союзу 12 країн додали до цих документів свої національні програми.

Натомість, за українськими Правилами утримання зелених насаджень, на вулицях міст швидкорослі дерева, яким понад 45 років та ті, що ростуть повільно, яким понад 60 років, вважаються аварійними, а відтак мають бути видалені. Це законодавча вимога, яка регламентується Порядком видалення дерев, кущів, газонів і квітників у населених пунктах.

Старі дерева поділяються на різні категорії. Так, є старі дерева з процесами гниття (так звані «дерева-ветерани»); живі дерева з гніздами, тріщинами, дуплами, гнилими або мертвими частинами; частково живі, вмираючі або мертві дерева (але не на поверхні ґрунту), що вважаються особливо важливими для біорізноманіття з точки зору породи, форми чи розміру. Живі «дерева-ветерани» це:

дуже старі дерева з великими гілками, з ознаками фізіологічного відмирання, що забезпечують місця гніздування (птахи, білки та інші види разом з ксилофагами та їхніми хижаками)

- дуже старі дерева з великими кронами для гніздування (великі хижі птахи, такі як беркут (Aquila chrysaetos), чорний лелека (Ciconia nigra)

- порожнини на дуже старих деревах, які важливі для дуплогнізників, наприклад для таких як Сич волохатий (Aegolius funereus)

- суха деревина на живих деревах яка важлива для твердокрилих та грибів, що розкладають деревину

Старі дерева у містах особливо цінні та потребують максимальних зусиль для збереження. Великі дерева мають широку крону і більше листя, тому вони поглинають більше вуглекислого газу й шкідливих речовин, ніж молоді дерева. Старі дерева – це цілі маленькі світи: в їх корі, дуплах і гілках живуть сотні видів комах, птахів, грибів і мохів. Вони краще пристосовані до місцевого клімату, міських умов і менш чутливі до стресів (як спека, морози чи забруднення). Старі дерева часто є "живими пам'ятниками" – вони пам'ятають історію міста, можуть бути частиною його ідентичності. Глибоке коріння старих дерев краще утримує

ґрунт, запобігаючи його змиванню під час дощів. Величезні старі крони створюють особливу атмосферу, тінь і прохолоду, яких молоді деревця ще не можуть дати. Тому збереження старих дерев навіть важливіше, ніж висадка нових, хоча при посадках молодих дерев відбуваються різні акції, а про збереження старих дерев медійні засоби зазвичай не розповідають.

У Львові старі дерева мають не лише екологічну, а й історичну та культурну цінність. Однак вони потребують особливого догляду та захисту. Деякі дерева у Львові збереглися ще з XVIII - XIX століть. Наприклад, у парку імені Івана Франка ростуть дуби, клони, липи та інші дерева, посаджені в 1855 - 1890 роках. Старі дерева є осередками життя для багатьох видів птахів, комах та грибів, сприяючи збереженню міського екосередовища. Окремі дерева мають особливе значення. Наприклад, дуб на вулиці Бандери, якому понад 200 років, пов'язаний з історією родини Андрея Шептицького. Парк імені Івана Франка – це найстаріший парк Львова з багатьма віковими деревами. Дендропарк імені Бенедикта Дибовського, який розташований на вулиці Кубанській, 12, має колекцію з 113 видів дерев та кущів, яким понад 150 років. Старі дерева Львова – це не лише природна краса, а й жива історія міста. Їх збереження вимагає спільних зусиль влади, фахівців та мешканців.

Старі дерева мають особливу цінність для екологічної освіти, оскільки вони є живим прикладом довголіття природи (старі дерева демонструють, як природа розвивається десятиліттями і навіть століттями, вони вчать терпінню, шанобливому ставленню до часу і життя); навчальними платформами для біорізноманіття (на одному старому дереві можна вивчати екосистему в мініатюрі: лишайники, гриби, комахи, птахи – усе це дає можливість прямо на місці досліджувати ланцюги живлення й співіснування видів); формують екологічну відповідальність (коли діти чи дорослі вчаться піклуватися про старі дерева, вони глибше розуміють принципи сталого розвитку, відповідальності за довкілля та важливість збереження ресурсів); вказують на зв'язок з культурною спадщиною (старі дерева – це "свідки історії", через їхні історії можна поєднувати екологічну освіту з вивченням культури, традицій, навіть місцевої міфології); надають практичні навички догляду за природою (досвід догляду за старими деревами – правильна обрізка, догляд за ґрунтом, захист від шкідників – допомагає на практиці опановувати навички природоохоронної діяльності; сприяють емоційному зв’язку (старі дерева часто справляють дуже сильне враження: їх розміри, форма, навіть наявність дупел і слідів часу викликають захоплення й бажання берегти природу).

Старі дерева – це креативні ідеї для екопроектів:

"Паспорти дерева" (створення паспорту для кожного старого дерева: його вік, вид, історія, які тварини і рослини з ним пов'язані. Діти або мешканці можуть допомагати збирати дані та оформлювати паспорти.)

"День обіймів дерев" (організація акції, де кожен може "усиновити" дерево – обійняти, сфотографуватися з ним, розповісти його історію або придумати легенду.

Екскурсії "Життя старого дерева" (проведення тематичної прогулянки містом або парками, де розповідається про різні старі дерева: їх вік, біологію, роль у місті. Наприклад, на екостежці в одному з мікрорайонів м.Львова є стенд «Хто старший? Дуб чи Сихів?»)

Художні майстер-класи (пленери для дітей або дорослих: малювання, фотографування або створення скульптур на тему "моє улюблене дерево)".

Навчальні квести "Врятуй дерево" (квест або гра, де учасники розв'язують загадки, щоб знайти дерево, дізнатися, як його захистити від шкідників чи погодних загроз.

Моніторинг старих дерев (створення волонтерських груп спостереження за деревами – фіксація стану листя, гілок, наявність грибів чи шкідників, передавання отриманих даних в міські служби.

Історичні розповіді біля дерев (організація читання віршів, легенд, казок чи спогадів біля старих дерев, щоб підсилити емоційний зв'язок із природою).

Для дітей молодшого шкільного віку проводимо інтерактивні екоігри: міні-дослідження: "Хто живе на старому дереві" та гра "Дерево-житло".

Станом на початок 2025 р. на території Львівської міської територіальної громади є 221 особливо цінне великовікове дерево та інтерактична карта їх розташування https://tvoemisto.tv/news/170richnyy_dub_ta_metasekvoyya_yaki_unikalni_dereva_rostut_u_lvovi_foto_interaktyvna_mapa_104029.htm.

Для збереження стровікових дерев у м. Львові проводяться регулярні обстеження дерев у парках. Наприклад, у парках "700-річчя Львова" та Замарстинівському аварійні дерева позначають мітками для подальшого догляду або видалення: У 2024 році на Львівщині провели комплексне дослідження вікових дерев за участі арбористів з України та Польщі, які надали рекомендації щодо догляду за деревами віком понад 300 років. Після буревію у 2021 році, який пошкодив кілька історичних дерев у Львові, міська влада розглядала можливість перетворення залишків дерев на скульптури або меморіали

Ключові слова: вікові дерева, урбоекосистема

УДК 626.86:625.7/.8:504.06

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ВОДОПРОПУСКНОГО ОБЛАДНАННЯ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

***Добровольська О.Г.**, к.т.н., **Фостащенко О.М.**, к.т.н.*
***Резуненко А.А.**, студентка*
Запорізький національний університет, Україна

В сучасних умовах відновлення міської інфраструктури України особливого значення набуває забезпечення надійності транспортних споруд, інтегрованих із системами поверхневого водовідведення. Дамби з проїзною частиною та водопропускними трубами виконують одночасно гідротехнічні й транспортні функції, тому їхній технічний стан безпосередньо впливає як на безпеку руху, так і на екологічний стан територій. Недостатня ефективність водовідведення, характерна для багатьох об'єктів, призводить до руйнування дорожнього покриття, ерозії укосів і погіршення стану водних екосистем. Відповідно до вимог [1, розділ 9], система водовідведення вулиць і доріг повинна забезпечувати своєчасне та організоване відведення поверхневих вод, запобігаючи їх накопиченню та руйнуванню конструкцій дорожнього одягу.

Метою роботи є обґрунтування технічних рішень з відновлення водопропускного вузла в м. Запоріжжі, призначеного для пропуску вод річки Верхня Хортиця під автомобільною дорогою по вул. Котляревського, що представлений двома залізобетонними водопропускними трубами діаметром 1500 мм, на основі результатів обстеження їх технічного стану.

Обстеження виконувалося з урахуванням підходів, викладених у [2], які регламентують методи оцінювання технічного стану інженерних споруд, включаючи виявлення дефектів, визначення ступеня їх розвитку та прогнозування подальшої експлуатаційної придатності. В результаті обстеження встановлено такі характерні пошкодження:

- порушення роботи водопропускної труби через часткове замулення та зниження її пропускної здатності;
- засмічення водовідвідного лотка, що призводить до застою води;
- формування неорганізованого стоку з проїзної частини;
- руйнування асфальтобетонного покриття дамби внаслідок тривалого зволоження;
- локальні розмиви укосів, спричинені концентрованими потоками води.

Аналіз показав, що ключовим чинником деградації споруди є порушення організованого водовідведення. На рисунку 1 показані дефекти, виявлені в результаті обстеження водопропускної дамби: Д1 – розмив та руйнування укосів дамби, Д2 – фізичний знос, руйнування та засмічення водовідвідного лотка, Д3 –

наявність неорганізованого водовідведення з проїзної та пішохідної частини по насипу дамби.



Рис. 1. Результати візуального обстеження водопропускної дамби

Вода, яка не відводиться у встановленому напрямку, накопичується на поверхні проїзної частини, інфільтрується в конструкцію дорожнього одягу та спричиняє його руйнування. Одночасно відбувається перерозподіл потоків на укоси дамби, що викликає їх ерозію. Згідно з вимогами **[1]**, такі явища свідчать про невідповідність експлуатаційного стану об’єкта нормативним вимогам щодо водовідведення та утримання дорожніх споруд.

З урахуванням результатів обстеження обґрунтовано комплекс технічних заходів: відновлення пропускної здатності водопропускної труби: передбачено очищення труби, влаштування дощоприймальних колодязів для збору атмосферних вод, що дозволяє мінімізувати порушення ґрунтового середовища та зберегти наявну інфраструктуру; реконструкцію системи водовідведення: очищення та відновлення водовідвідних лотків, організацію спрямованого відведення поверхневого стоку з проїзної частини; укріплення укосів дамби із застосуванням рослинності для запобігання розвитку ерозійних процесів; відновлення дорожнього покриття шляхом ремонту асфальтобетонного шару з урахуванням необхідності забезпечення водовідведення та зменшення водонасичення конструкції.

Реалізація зазначених заходів дозволяє припинити процеси розмиву укосів, ліквідувати неорганізоване водовідведення, відновити функціональність водопропускної споруди, запобігти подальшому руйнуванню дорожнього покриття. З екологічного погляду це забезпечує зменшення винесення ґрунтів у водні об’єкти, зниження замулення та стабілізацію гідрологічного режиму території.

Література

1. ДБН В.2.3-5:2018.(2018). Вулиці та дороги населених пунктів. [Чинний від 2018-09-01]. Київ : Мінрегіон України.

2. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. (2012). *Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів*. [Чинний від 28.12.2012]. Київ : Мінрегіонбуд України.

УДК 697:620.9:69.059.3

ВІДБУДОВА МАЛОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ З ВПРОВАДЖЕННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ

***Добровольська О.Г.**, к.т.н., **Макух М.М.**, студент*
Запорізький національний університет, Україна

Відновлення житлового фонду України в умовах воєнного часу супроводжується необхідністю не лише оперативного відтворення зруйнованих об’єктів, але й адаптації проєктних рішень до оновлених будівельних нормативних документів, що формуються з урахуванням воєнних викликів і потреб безпеки. Актуальність цих завдань зумовлена впровадженням принципів «зеленого переходу» у поєднанні з новими нормативними вимогами, які регламентують підвищення енергоефективності будівель, використання відновлюваних джерел енергії та забезпечення стійкості об’єктів до надзвичайних впливів. Впровадження зазначених принципів відповідає оновленим нормативним документам, які враховують питання енергоефективності [1, стаття 3], вимоги цивільного захисту [2], що є невіддільною ознакою відбудови.

У даній роботі обґрунтовуються технічні рішення щодо реконструкції малоповерхової житлової будівлі із впровадженням енергоефективного інженерного обладнання та використанням альтернативних джерел енергії.

Об’єктом дослідження є двоповерхова житлова будівля з розмірами на плані 12,7 × 10,3 м, що реконструюється в умовах південного регіону України з урахуванням кліматичних особливостей території. Проєктні рішення передбачають утеплення огороджувальних конструкцій, раціональне планування території та організоване відведення поверхневих вод, що сприяє зменшенню тепловтрат і підвищенню експлуатаційної надійності будівлі.

Розглянуто чотири варіанти опалення будівлі з використанням альтернативних джерел енергії. Розрахунки виконані автороми на основі типових технічних характеристик обладнання.

Перший варіант передбачає застосування водяної теплої підлоги у поєднанні з тепловим насосом типу «повітря – вода» або «вод – вода». Даний варіант характеризується зниженими витратами електроенергії (близько 12850 кВт за сезон) та високою енергоефективністю. Загальні витрати становлять 937000 грн для системи «повітря – вода» та 1112000 грн для системи «вода – вода». Попри значні початкові інвестиції, цей варіант забезпечує оптимальне співвідношення між енергоспоживанням і витратами, а термін окупності становить близько 5,5 років.

Другий варіант із застосуванням електричного котла характеризується меншою початковою вартістю обладнання (817 000 грн.), однак має суттєвий недолік у вигляді значного споживання електроенергії (понад 55 000 кВт за сезон),

що призводить до зростання експлуатаційних витрат і підвищеного навантаження на енергосистему.

Третій варіант передбачає використання твердопаливного котла, який забезпечує відносно низькі витрати на електроенергію, проте потребує значних витрат на паливо (до 75 000 грн за сезон) і має низку експлуатаційних недоліків, зокрема необхідність ручного обслуговування та зберігання палива. Крім того, використання твердого палива не повною мірою відповідає екологічним вимогам сталого розвитку.

Четвертий варіант базується на застосуванні сонячної електростанції та електричної системи обігріву. Попри високий рівень енергонезалежності та екологічності, цей варіант характеризується значною вартістю (понад 2,1 млн грн) і низькою ефективністю у зимовий період, коли продуктивність сонячних панелей знижується до 5–10 %.

Порівняльний аналіз показав, що найбільш доцільним є використання теплових насосів у поєднанні з низькотемпературними системами опалення (теплої підлоги). Таке рішення дозволяє суттєво скоротити споживання енергії, зменшити викиди парникових газів і забезпечити енергоефективність будівлі в довгостроковій перспективі. Додатковим елементом «зеленого переходу» є інтеграція сонячних панелей як допоміжного джерела енергії, що дозволяє частково покривати електроспоживання та підвищувати автономність будівлі. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії створює передумови для формування енергонезалежного житлового середовища.

Запропоновані рішення можуть бути використані при реконструкції житлових будівель, що відповідає вимогам сталого розвитку та післявоєнної відбудови України. Отримані результати можуть бути застосовані при проєктуванні малоповерхової забудови з урахуванням сучасних екологічних стандартів. Впровадження альтернативних джерел енергії та енергоефективних інженерних рішень є ключовим фактором для зменшення енергетичних витрати, забезпечення екологічної безпеки та комфорту проживання.

Література

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII. Поточна редакція станом на 03.08.2025. Верховна Рада України. База даних. Законодавство України. 2025. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19%23Text

2. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Актуалізований текст в останній редакції із змінами, внесеними Зміною № 1 та Зміною №2. [Чинний від 2025-04-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2023. 127 с. URL: https://numl.org/.082503

УДК 504.062:628.4(477)

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ У КОНТЕКСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТПВ В УКРАЇНІ

***Коробчук Л.І.**, к.пед.н., доц.,* ***Рибачук М.В.**, здобувач*
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

Сучасний етап соціально-економічного розвитку України характеризується інтенсивною концентрацією населення в центрах міст, що призводить до трансформації звичок та споживання домогосподарств. Зростаючий попит на товари одноразового використання та розширення промислового сектору та сектору послуг призводять до експоненціального збільшення обсягів твердих побутових відходів. Це створює критичне навантаження на муніципальні системи збору та утилізації, складність яких ще не встигає за темпами утворення відходів. Експерти оцінюють, що середній мешканець українського мегаполісу щорічно генерує від 250 до 400 кг відходів, що вимагає перегляду логістики міської санітарії.

Наразі в Україні домінуючою практикою залишаються захоронення на полігонах (понад 90% відходів) та несанкціоновані звалища. Це породжує низку небезпечних процесів, зокрема: викид фільтрату, що є проникненням токсичних рідких продуктів розкладу (важких металів, фенолів та аміачного азоту) у ґрунти та водоносні горизонти підземних вод; анаеробне розкладання органічної речовини, що призводить до виділення звалищного газу (метану та CO_2), який має високий потенціал глобального потепління та створює пожежну небезпеку; мікропластикове забруднення, яке являє собою тривалу деградацію полімерів, згодом призводить до накопичення мікропластику, який інтегрується в харчові ланцюги, загрожуючи біорізноманіттю та здоров'ю людини.

Несанкціоноване спалювання відходів є джерелом стійких органічних забруднювачів (діоксинів, фуранів), які мають канцерогенну дію. Несанкціоновані звалища стають розсадниками патогенної мікрофлори та переносників інфекцій, що в поєднанні з погіршенням естетики ландшафту знижує загальну якість життя населення та провокує психологічний дискомфорт у мешканців прилеглих районів.

Тому, незважаючи на нинішній низький рівень переробки (приблизно 6%), систематична модернізація інфраструктури, залучення інвестицій у сміттєпереробні підприємства та підвищення екологічної свідомості громадян є єдиною альтернативою інтеграції України в європейський екологічний простір. Сталий розвиток міст залежить від здатності перетворити відходи з екологічного навантаження на цінний енергетичний та матеріальний ресурс. Науково обґрунтоване управління твердими відходами не лише покращить стан навколишнього середовища, але й забезпечить збереження первинної сировини.

УДК 504.05:656.13

ЕКОЛОГІЧНА ДЕСТРУКЦІЯ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ВПЛИВОМ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

***Коробчук Л.І.**, к.пед.н., доц., **Романюк А.С.**, здобувачка*
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

В умовах сучасної економічної трансформації України, автотранспортна галузь стала домінуючим фактором антропогенного тиску на навколишнє природне середовище. На відміну від стаціонарних промислових джерел, автотранспорт характеризується мобільністю, низьким розташуванням джерел викидів та високою концентрацією в житлових районах. У містах, що переживають інтенсивну урбанізацію, частка забруднення повітря від мобільних джерел сягає 80 %, що робить екологічну безпеку транспорту пріоритетом національної стратегії сталого розвитку.

Динаміка зростання автопарку України демонструє швидке збільшення кількості транспортних засобів, що становить понад 60 % вантажних та пасажирських перевезень. Однак якість автопарку залишається незадовільною.

Важливою віхою стало приєднання України до Женевської угоди та впровадження міжнародних стандартів Євро. Впровадження стандартів Євро 3, Євро 4, а потім Євро 5 (2016) частково обмежило імпорт екологічно небезпечних транспортних засобів. Запланований перехід на Євро 6 (так званий «зелений стандарт») передбачає фактичну відмову від старих дизельних двигунів на користь гібридних технологій та електромобілів. Однак, попри законодавчі ініціативи, фактичний моніторинг викидів відбувається переважно на етапі сертифікації, що ігнорує мільйони транспортних засобів, що щоденно експлуатуються.

Негативний вплив автотранспорту є багатофакторним. Перш за все, це стосується забруднення повітря. Процес згоряння в двигунах внутрішнього згоряння виділяє понад 200 хімічних компонентів. До ключових компонентів належать оксиди вуглецю (CO), оксиди азоту (NOx), вуглеводні (CxHy) та сажа. Особливо небезпечним є використання етилованого бензину, який виділяє в атмосферу аерозолі свинцю (Pb). Одна середня вантажівка виробляє до 2,5-3 кг свинцю на рік, який осідає на придорожніх територіях.

Не менш суттєвою проблемою є забруднення ґрунтів та міської біоти. Дослідження підтверджують, що 75 % токсичних викидів осідають безпосередньо на автомагістралях. Свинець та важкі метали накопичуються в ґрунті, потрапляючи в харчові ланцюги. Коли концентрація свинцю перевищує 3000 мг/кг, починається незворотна деградація фітоценозів.

У містах посилюється фізичне забруднення від автопарків. Шум та вібрація є специфічними забруднювачами міського середовища. Рівень шуму в районах з високою інтенсивністю руху сягає 90-95 дБ (стандарт для легкових автомобілів – 80 дБ). Вібраційні коливання поширюються до 10 метрів, впливаючи на фундаменти будівель та психофізіологічний стан людей. Тривалість перебування людини в ураженій зоні автомагістралей корелюється зі збільшенням кількості специфічних захворювань.

Мешканці будинків, розташованих ближче 10 метрів від дороги, у 3-4 рази частіше хворіють на рак, ніж ті, хто живе далі 50 метрів. Також спостерігаються часті випадки «шумової хвороби», симптоми якої включають гіпертонію, агресію та порушення сну. Жінки, літні люди та діти особливо чутливі до шуму. Тривалий вплив вібрації, особливо на водіїв та пішоходів, може спричинити вібраційну хворобу (оніміння кінцівок, біль у кістках та проблеми з кровообігом). Хоча окремий транспортний засіб є малопотужним джерелом, спільний вплив його системи запалювання, електромобілів та електрифікованого громадського транспорту створює стійке електромагнітне поле в житлових районах. Тим часом, зелені зони міста, які повинні виступати екологічним бар'єром, самі стають жертвами техносфери. Вирубка дерев для паркування та розширення доріг знижує асиміляційний потенціал міста. Дерева, що ростуть уздовж доріг, схильні до хлорозу та некрозу. Крім того, продихи листя засмічуються сажею.

Для покращення екологічної ситуації пропонується наступна стратегія управління навколишнім природним середовищем:

1. Просторова ізоляція, яка передбачає встановлення шумозахисних бар'єрів та створення багаторівневих фітофільтрів (захисних смуг) вздовж автомагістралей.

2. Озеленення логістики базується на повній забороні транзиту вантажівок через центральні райони.

3. Фітомеліорація охоплює створення багаторівневих захисних смуг з газостійких дерев та чагарників.

4. Інфраструктурна альтернатива передбачає розширення мережі велосипедних доріжок та сприяння мікромобільності.

5. Модернізація логістики включає створення продуманих рішень та підземних переходів для забезпечення безперебійного руху транспорту (найнижчі викиди – зі стабільною швидкістю без частого гальмування).

6. Правовий нагляд та посилення відповідальності за недотримання норм шуму та вібрації, а також приведення українських нормативних актів у повну відповідність до стандартів ЄС.

Таким чином, перспективним напрямком для подальших досліджень у контексті екологічної безпеки в міському середовищі є впровадження інтелектуальної системи моніторингу транспортних потоків, яка дозволить коригувати обсяг руху в режимі реального часу та мінімізувати утворення локалізованих зон надзвичайно високих концентрацій токсичних речовин. Крім того, вкрай важливо сприяти екологічній обізнаності населення шляхом заохочення переходу до мультимодальних моделей пересування, які надають пріоритет пішохідним зонам та екологічно чистому громадському транспорту. Впровадження запропонованих заходів забезпечить перехід від пасивного визнання екологічних втрат до проактивного управління ризиками в умовах техногенного стресу.

УДК 502/504:711.4:577.4

РОЛЬ БІОРІЗНОМАНІТТЯ У ФОРМУВАННІ СТІЙКИХ МІСТ

***Поліщук С.М.**, здобувач третього рівня вищої освіти за спеціальністю Е2 Екологія, **Василенко О.В.**, к. с.-г. н., доцент*
Уманський національний університет, м. Умань, Україна

Зростання значення міст у розвитку суспільства, яке супроводжується ростом і розвитком міських поселень, зростанням питомої ваги міського населення, поширенням міського способу життя в певному регіоні, країні, світі – стало одним із найбільших процесів розвитку людства за останні сто років.

Відповідно до даних міжнародних організацій більшість населення світу вже проживає у містах, і ця тенденція продовжує невпинно зростати. Однак, такий швидкий розвиток міського населення часто супроводжується порушенням екологічних норм, деградацією природних екосистем, зменшенням зелених зон та втратою біорізноманіття. В епоху стрімкої урбанізації міста дедалі більше стають ключовими центрами впливу на природне середовище.

За таких обставин, особливого значення набуває питання інтеграції природних компонентів у міське планування, адже саме біорізноманіття відіграє ключову роль у формуванні стійких, екологічно збалансованих та комфортних умов для життя в містах.

Біорізноманіття – це різноманітність живих організмів, включаючи рослини, тварини, мікроорганізми, а також екосистеми, у яких вони існують. У міському середовищі це відображається у вигляді парків, скверів, інших зелених насаджень, міських лісів, водних об’єктів, річок, ставків і навіть невеликих природних ділянок. Міста можуть бути і можуть ставати осередками значного біорізноманіття за умови правильного управління природними ресурсами.

Екологічна стабілізація є однією з основних функцій біорізноманіття в місті. Зокрема, рослинність сприяє очищенню повітря від шкідливих речовин, зменшенню рівня шуму, регулюванню температури та вологості. Зелені насадження здатні поглинати вуглекислий газ і виробляти кисень, що особливо важливо в умовах підвищеного рівня забруднення повітря в місті. Крім того, природні елементи, а особливо зелені насадження, допомагають зменшити ефект «міського теплового острова», коли температура в місті є значно вищою, ніж у навколишніх сільських районах.

Також біорізноманіття відіграє важливу роль у водному балансі міста. Зелені зони сприяють інфільтрації дощових вод, зменшуючи навантаження на каналізаційні системи та ризик підтоплень. Природні або штучно створені водойми можуть виконувати функцію регуляторів водного режиму, а також можуть бути як середовище для існування багатьох видів флори і фауни. Таким чином, інтеграція природних елементів у міську інфраструктуру є ефективним інструментом адаптації до змін клімату та до комфортного життя у місті.

Окрім екологічних функцій, біорізноманіття має значний соціальний і психологічний вплив. Доступ до зелених зон покращує якість життя мешканців, сприяє зниженню рівня стресу, підвищує фізичну активність і загальне самопочуття. Парки та сквери стають місцями відпочинку, соціальної взаємодії, культурного та спортивного розвитку. Дослідження зазначають, що люди, які проживають поруч із зеленими зонами, парками, скверами мають кращі показники здоров'я та вищий рівень задоволеності життям [1].

Окремої уваги заслуговує розвиток концепції, яка передбачає врахування потреб не лише людей, а й інших живих організмів. Така концепція полягає у створенні умов для існування птахів, комах-запилювачів, дрібних ссавців та інших представників міської фауни. Наприклад, встановлення штучних гнізд, збереження старих дерев, мінімізація використання пестицидів та збереження природних галявин замість традиційних спеціально насаджених газонів сприяють підвищенню біорізноманіття навіть у щільно забудованих районах.

Економічний аспект також є важливим у контексті збереження біорізноманіття. Зелені міста приваблюють інвесторів, туристів і нових мешканців. Наявність якісного природного середовища підвищує вартість нерухомості та сприяє розвитку місцевого бізнесу. Забудова житлової території з поєднанням будівництва зелених зон, парків, скверів, спортивних майданчиків приваблює потенційних покупців до такої нерухомості. Також, використання сучасних природоорієнтованих рішень часто є більш економічно вигідним у довгостроковій перспективі, ніж традиційні інженерні підходи. Сучасні рішення передбачають використання дизайну, який спрямований на включення природних елементів у будівлі та громадські простори. Це можуть бути зелені стіни, внутрішні сади, використання природних матеріалів і максимальне залучення природного освітлення. Такі рішення не лише покращують естетичні характеристики міста, але й позитивно впливають на фізичне та психічне здоров'я людей [2].

Проте, незважаючи на очевидні переваги, біорізноманіття у містах зазнає значного тиску. Хаотична забудова, ігнорування норм екологічного законодавства при будівництві, знищення зелених насаджень, вирубування дерев, порушення екосистеми, забруднення, зміна клімату та нераціональне використання ресурсів є основними причинами погіршення екологічної ситуації в містах. Часто міське планування не враховує екологічні аспекти або розглядає їх як другорядні. Все це негативно впливає на екосистеми та їх здатність до відновлення. Для формування стійких міст необхідно впроваджувати комплексний підхід до управління біорізноманіттям. Це включає створення екологічних мереж, які поєднують різні зелені зони між собою, забезпечуючи міграцію видів і підтримку екосистемних процесів. Важливим є також використання місцевих видів рослин, які краще адаптовані до кліматичних умов і потребують менше ресурсів для догляду.

Сучасні концепції сталого розвитку міста передбачають інтеграцію природних елементів в усі аспекти міського життя. Це може включати зелені дахи, вертикальні

сади, екологічні коридори, зелені насадження, відновлення річок та створення нових природних просторів. Такі рішення не лише підвищують екологічну стійкість, але й роблять міста більш привабливими та комфортними для життя. Важливу роль у збереженні біорізноманіття відіграє участь громади. Освітні програми, екологічні ініціативи та залучення мешканців до догляду за зеленими зонами сприяють формуванню екологічної свідомості. Люди починають сприймати природу не як ресурс, а як цінність, яку необхідно зберігати та відновлювати.

Таким чином, біорізноманіття є невід'ємною складовою стійкого розвитку міст. Воно забезпечує екологічну рівновагу, покращує якість життя населення, сприяє економічному розвитку та допомагає адаптуватися до глобальних викликів, зокрема, таких як зміна клімату. Збереження та примноження біорізноманіття повинно стати пріоритетом у міському плануванні та управлінні, адже від цього залежить майбутнє не лише міст, але й усього людства.

Наостанок варто зазначити, що формування стійких міст неможливе без усвідомлення цінності природи як основи життя. Біорізноманіття не є другорядним елементом урбаністики, навпаки – воно є фундаментом, на якому будується екологічна, соціальна та економічна стійкість. Інвестування у збереження природи в містах – це інвестиція у майбутнє, яка забезпечує добробут нинішніх і наступних поколінь.

Література

1. Twohig-Bennett C., Jones A. The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes. Environmental Research, 2018. 166. P. 628–637.

2. Kabisch N., Korn H., Stadler J., Bonn A. Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice. Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_1

УДК 582.635.1:712.4

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОСЛИН ГІРКОКАШТАНУ ЗВИЧАЙНОГО ТА КАШТАНУ ЇСТІВНОГО В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Балабак О. А., *д. с.-г. н.,* ***Бородієнко В. О.,*** *здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,* ***Плаксицький В. А.,*** *здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,*
Уманський національний університет, м. Умань, Україна

В умовах стрімкої урбанізації, яка супроводжується зростанням техногенного навантаження на природні екосистеми, підвищенням рівня забруднення атмосферного повітря, деградацією ґрунтового покриву та загальним погіршенням екологічного стану довкілля, проблема створення екологічно безпечного, стійкого та комфортного для проживання середовища набуває особливої ваги. У цьому контексті важливу роль відіграють зелені насадження, які виконують санітарно-гігієнічні, кліматорегулюючі, рекреаційні та естетичні функції.

Урбанізовані території характеризуються значним рівнем антропогенного впливу, що проявляється у підвищеній концентрації шкідливих речовин у повітрі, ущільненні ґрунтів, обмеженні водного режиму та зміні мікроклімату. Усі ці чинники суттєво впливають на життєвий стан деревних рослин, які використовуються в озелененні міст. Особливої уваги заслуговують такі поширені види, як гіркокаштан звичайний та каштан їстівний, що мають як декоративне, так і господарське значення.

Гіркокаштан звичайний традиційно є однією з провідних декоративних порід у міських насадженнях України. Його цінують за високу естетичну привабливість, густу крону та ефектне цвітіння. Проте цей вид характеризується підвищеною чутливістю до несприятливих умов міського середовища, зокрема до газового забруднення, пилового навантаження, ущільнення ґрунту та дефіциту вологи. Значної шкоди насадженням завдає мінуюча міль (Cameraria ohridella), яка спричиняє передчасне відмирання листя. Як наслідок, у міських умовах спостерігається зниження декоративності, передчасна вегетаційна деградація та ослаблення фізіологічного стану рослин [1, 5].

На відміну від нього, каштан їстівний демонструє вищу адаптивність до окремих стресових факторів, зокрема до посушливих умов і певного рівня антропогенного навантаження. Цей вид має важливе господарське значення як плодова культура, проте в Україні використовується в озелененні значно рідше. Обмежуючими факторами є його теплолюбність і чутливість до низьких температур, що звужує ареал ефективного вирощування [3, 5].

Історично Castanea sativa широко культивується в регіонах Причорномор'я та на Балканському півострові, де його використання налічує багато століть. Плоди цієї рослини є цінною харчовою сировиною, яка застосовується як у свіжому вигляді, так і після технологічної переробки. У період цвітіння рослина є важливим медоносом, що сприяє розвитку бджільництва. Деревина каштану їстівного відзначається високою міцністю, довговічністю та природними антисептичними властивостями, що забезпечує її стійкість до ураження грибковими патогенами. Кора багата на дубильні речовини, а опале листя, оболонки плодів і плюски можуть використовуватися як мульчувальний матеріал або сировина для виробництва органічних добрив [2, 6].

Каштан їстівний є світлолюбною породою, яка потребує достатнього рівня освітлення для нормального росту й розвитку. За оптимальних умов освітлення формуються добре розвинені крони з густим листковим покривом. Натомість у загущених насадженнях спостерігається пригнічення ростових процесів: крони стають розрідженими, листки – дрібними та менш інтенсивно забарвленими, що негативно впливає як на декоративність, так і на продуктивність рослин [4].

Порівняльний аналіз зазначених видів свідчить про наявність як переваг, так і обмежень щодо їх використання в урбанізованому середовищі. Гіркокаштан звичайний доцільно застосовувати переважно у паркових і рекреаційних зонах за умови належного догляду та фітосанітарного контролю. Водночас каштан їстівний має значний потенціал для впровадження у південних регіонах України, де кліматичні умови є більш сприятливими, а також для створення багатофункціональних зелених насаджень, що поєднують декоративні, екологічні та господарські функції [1].

Таким чином, підбір деревних порід для озеленення міських територій повинен ґрунтуватися на комплексній оцінці екологічних факторів, ступеня антропогенного навантаження, біологічних особливостей видів та функціонального призначення зелених насаджень, що забезпечить їхню стійкість, довговічність і ефективність у міському середовищі.

Література

1. *Кучерявий В. П. Озеленення населених місць : підручн. Львів : Світ. 2005. 456 с.*
2. *Abdelwahab, S. I.. Exploring the potential of chestnut (Castanea sativa Mill.). Bulletin of the National Research Centre. 2024. 48.*
3. *Baycan-Levent T., Vreeker R., Nijkamp P. A Multi-Criteria Evaluation of Green Spaces in European Cities. European Urban and Regional Studies. 2009. 16 (2). P. 193–213.*
4. *Beridze, B. Conservation prioritization of Castanea sativa in the South Caucasus. Ecology and Evolution. 2023. 13.*
5. *Brosse N., Dufour A., Meng X. et al. Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. Biofuels, Bioprod. Bioref. 2019. P. 34–45.*
6. *City of Dresden. Zukunft Dresden 2025. IntegriertesStadtentwicklungskonzept Dresden (INSEK). Dresden. 2016. 150 p.*

УДК 630*27:581.522.4:712.4

ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОВИДОВИХ ТАКСОНІВ РОДУ *CORYLUS L.* ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ САДОВО-ПАРКОВИХ ЛАНДШАФТІВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

***Балабак О. О.**, аспірант, викладач-стажист, Уманський національний університет, м. Умань, Україна*

Екологічний стан довкілля у сучасних умовах зазнає суттєвих змін під впливом інтенсивної господарської діяльності людини, урбанізаційних процесів та глобальних кліматичних трансформацій. Зростання техногенного навантаження, деградація ґрунтів, зменшення площ природної рослинності та порушення природних екосистем призводять до зниження їх здатності до саморегуляції. У цьому контексті особливої актуальності набуває питання формування екологічно стійких ландшафтів та відновлення порушених територій із використанням адаптованих рослинних видів. Зелені насадження виконують ключову роль у цих процесах, оскільки вони не лише формують естетичний вигляд територій, але й забезпечують важливі екосистемні послуги, включаючи очищення атмосферного повітря, регулювання водного балансу, зменшення шумового навантаження та створення сприятливих умов для існування живих організмів.

У зв’язку з цим важливого значення набуває підбір видів рослин, які характеризуються високою екологічною пластичністю, стійкістю до стресових факторів середовища та здатністю ефективно функціонувати в умовах антропогенно трансформованих територій. Представники роду *Corylus L.* (роду ліщина) відповідають цим вимогам і можуть розглядатися як перспективний компонент сучасних систем озеленення. Їх використання у садово-паркових ландшафтах сприяє не лише підвищенню декоративності насаджень, але й покращенню екологічного стану територій.

Рід *Corylus L.* об’єднує листопадні кущі та невеликі дерева, які широко поширені у помірному кліматичному поясі Європи та Азії. У флорі України найбільш поширеною є ліщина звичайна (*Corylus avellana L.*), яка характеризується значною внутрішньовидовою різноманітністю. Ця різноманітність проявляється у варіаціях морфологічних ознак, таких як форма та щільність крони, особливості росту пагонів, забарвлення листкової пластинки, строки вегетації та плодоношення. Наявність широкого спектра форм дозволяє підбирати рослини відповідно до конкретних умов місцезростання та функціонального призначення насаджень.

Еколого-біологічні особливості роду ліщина визначають його значну адаптивну здатність. Представники даного роду добре переносять затінення, що дозволяє використовувати їх у складі багатоярусних насаджень та у поєднанні з іншими деревними породами. Висока морозостійкість забезпечує стабільне існування представників роду *Corylus L.* у кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України, де можливі значні сезонні коливання температури. Крім того, рід ліщина характеризується здатністю до інтенсивного вегетативного розмноження, зокрема шляхом утворення кореневих

паростків, що сприяє швидкому поширенню та відновленню після механічних пошкоджень або впливу несприятливих факторів.

Суттєвою перевагою роду ліщина є його невибагливість до ґрунтових умов. Представники даного роду. можуть зростати на різних типах ґрунтів, включаючи слабокислі, нейтральні та навіть частково деградовані ґрунти. Це дозволяє використовувати їх у процесах рекультивації земель та відновлення порушених екосистем. Коренева система представників роду *Corylus L.* сприяє укріпленню ґрунтів, зменшенню ерозійних процесів і покращенню їх структури, що є важливим у контексті боротьби з деградацією земель.

Важливою є роль роду ліщина у підтриманні біорізноманіття. Представники роду *Corylus L.* створюють сприятливі умови для існування багатьох видів тварин і рослин, виконуючи функції кормової бази та середовища існування. Плоди представників роду ліщина є джерелом поживних речовин для птахів і дрібних ссавців, а густі зарості забезпечують захист і місця для гніздування. Таким чином, даний рід сприяє формуванню складних і стійких біоценозів, які характеризуються високим рівнем саморегуляції.

Додатково слід зазначити, що використання внутрішньовидових таксонів роду ліщина дозволяє підвищити стійкість зелених насаджень до впливу абіотичних і біотичних факторів. Зокрема, окремі форми можуть проявляти підвищену стійкість до посухи, забруднення повітря або ураження шкідниками та хворобами. Це відкриває можливості для селекційного відбору найбільш перспективних форм з метою їх подальшого використання у практиці озеленення.

Отже, внутрішньовидові таксони роду *Corylus L.* є важливим компонентом сучасних підходів до відновлення довкілля та формування екологічно стійких садово-паркових ландшафтів. Їх еколого-біологічні особливості забезпечують широкий спектр можливостей для практичного використання, що дозволяє поєднати екологічні, функціональні та естетичні аспекти озеленення. Подальші дослідження у цьому напрямі сприятимуть удосконаленню методів ландшафтного планування та підвищенню ефективності заходів з відновлення природного середовища з урахуванням сучасних екологічних викликів.

Література

1. Балабак О. А., Балабак А. В., Тарасенко Г. А. Адаптація сортів фундука до впливу факторів довкілля в умовах Правобережного Лісостепу України. Матеріали XIV з'їзду Українського ботанічного товариства (м. Київ, 25–26 квітня 2017 р.). Київ, 2017. С. 173.

2. Балабак О. А., Балабак А. В. Екологічні і біологічні особливості внутрішньовидових таксонів роду *Corylus L.* в умовах Правобережного Лісостепу України. Матеріали Всеукр. наук. конф. «Актуальні проблеми садівництва в аграрній науці». Умань, 2016. С. 157–159.

УДК 581.5:712.253

WISTERIA SPP. У СИСТЕМІ ЛАНДШАФТІВ НДП «СОФІЇВКА» НАН УКРАЇНИ: ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ, АДАПТАЦІЯ ТА ВПЛИВ НА УРБОЕКОСИСТЕМИ

Гончар Н. О. *,м. н. с., НДП «Софіївка» НАН України, м. Умань, Україна*

Глицинія (рід Wisteria Nutt.) є однією з найцінніших декоративних ліан, що поєднує високі естетичні характеристики з важливими екологічними функціями у штучно створених та напівприродних екосистемах [1]. У межах НДП «Софіївка» інтродукція та культивування представників цього роду розглядається не лише як елемент декоративного садівництва, але й як складова екологічної оптимізації урбанізованого середовища та формування стійких культурних ландшафтів [2, 4].

В умовах Правобережного Лісостепу України глицинія демонструє достатньо високий рівень екологічної пластичності [1]. Основні види, що культивуються в дендропарку «Софіївка», зокрема Wisteria sinensis та Wisteria floribunda, характеризуються здатністю адаптуватися до сезонних коливань температури, помірного водного режиму та різних типів ґрунтів. Ці два види вже понад 30 років зростають на ділянці витких рослин у кварталі №1 парку, де вони інтегровані в композиційну структуру ландшафтів як елементи вертикального озеленення. Щороку вони рясно цвітуть і формують повноцінне насіння, яке перед висіванням у ґрунт потребує стратифікації або скарифікації. Глицинія також добре розмножується вегетативним способом: пагони, що стеляться по землі, легко укорінюються, сприяючи формуванню щільних рослинних покривів у межах окремих ландшафтних ділянок. При цьому рослини, отримані насіннєвим способом, зацвітають значно пізніше, ніж ті, що були вирощені вегетативно. Для забезпечення рясного цвітіння необхідною є регулярна літня обрізка, яка також виконує функцію регулювання просторової структури насаджень.

Водночас їх успішна акліматизація значною мірою залежить від мікрокліматичних умов ділянок зростання, зокрема рівня інсоляції, захищеності від вітру та наявності опорних конструкцій, що є важливими елементами ландшафтної архітектури [4]. Завдяки цьому глицинія використовується як індикаторна рослина для оцінки екологічної стабільності та функціональної цілісності штучно створених ландшафтів.

З екологічної точки зору глицинія виконує низку важливих функцій. Як представник родини бобових, вона вступає в симбіотичні взаємовідносини з азотфіксуючими бактеріями, що сприяє збагаченню ґрунту сполуками азоту та покращенню його родючості [1]. Це, у свою чергу, позитивно впливає на розвиток супутніх рослинних угруповань і підвищує загальний рівень біологічної продуктивності ландшафтних екосистем. Крім того, потужна коренева система глициній бере участь у стабілізації ґрунтового покриву, запобігаючи ерозійним процесам.

Важливим аспектом є роль глициній у формуванні біорізноманіття в межах ландшафтів [4]. Під час цвітіння її суцвіття активно відвідуються різними видами комах-запилювачів, зокрема бджолами та джмелями, що сприяє підтриманню популяцій цих

важливих компонентів екосистем. Водночас густе листяне покриття створює сприятливі умови для існування дрібних безхребетних організмів і забезпечує укриття для деяких видів птахів, підвищуючи структурну складність і мозаїчність ландшафтних біоценозів.

У контексті екології урбанізованих територій глицинія відіграє значну роль у поліпшенні мікроклімату ландшафтних комплексів [3]. Завдяки значній листковій поверхні вона ефективно поглинає вуглекислий газ і пилові частинки, сприяючи очищенню повітря. Крім того, процес транспірації забезпечує зниження температури повітря в зоні її зростання, що особливо актуально в умовах літніх температурних максимумів. Використання глициніі у вертикальному озелененні дозволяє створювати природні «зелені екрани», які не лише виконують захисні функції, але й формують естетичну виразність ландшафтів.

Разом із позитивними аспектами інтродукції глициніі важливо враховувати потенційні екологічні ризики. У деяких регіонах світу окремі види Wisteria проявляють інвазійні властивості, активно розростаючись і витісняючи аборигенні види. Проте в умовах парку такі прояви не мають критичного характеру завдяки систематичному догляду та контролю за поширенням рослин. Регулярне обрізування та формування крони дозволяє обмежувати їхній ріст і підтримувати оптимальну ландшафтну рівновагу.

Наукові дослідження, що проводяться в парку, спрямовані на вивчення фізіолого-екологічних механізмів адаптації глициніі до змін клімату та їх впливу на стабільність ландшафтних систем [2]. Особлива увага приділяється її реакції на посушливі періоди, температурні стреси та зміни фенологічних фаз. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування поведінки інтродукованих видів у структурі культурних ландшафтів і для розробки стратегій сталого озеленення міських територій.

Окремо варто зазначити культурне значення глициніі: у японській традиції вона є символом ніжності, довголіття, витонченості та гармонії з природою.

Таким чином, глицинія в Національному дендрологічному парку «Софіївка» є не лише декоративним елементом, але й важливим компонентом ландшафтних екосистем, що виконує низку екологічних функцій. Її здатність до адаптації, участь у кругообігу речовин, підтримка біорізноманіття та вплив на мікроклімат роблять цю рослину перспективною для використання у сталому ландшафтному плануванні.

Література

1. Дендрофлора України: дикорослі та культивовані дерева і кущі / за ред. М.А. Кохна. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 448 с.

2. Кохно, М. А. Історія інтродукції деревних рослин в Україні (короткий нарис) К. : Фітосоціоцентр 2007. 67 с.

3. Кучерявий В.П. Урбоекологія. Львів: Світ, 2001. 440 с.

4. Слюсар, С. І. Інтродукція рослин – засіб формування екосистем і ландшафтів Сучасний ландшафт : проектування, формування, збереження : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 17-18 листопада 2016 року). К. : ЦП «КОМПРНТ», 2016. С. 62–63.

УДК: 911.3:338.48(477.87)

ОЦІНКА ПРОСТОРОВОЇ ТА ЛОГІСТИЧНОЇ ДОСТУПНОСТІ РЕКРЕАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАКАРПАТТЯ

***Максименко Н.В.**, д-р геогр.наук, проф.*, ***Коротецька Є.С**., магістр,*
***Тертицький Є.П.**, аспірант*,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м.Харків, Україна

Для комплексного дослідження рекреаційної дигресії ландшафтів критично важливим є проведення просторового аналізу транспортної та логістичної доступності туристичних об'єктів. Рівень доступності безпосередньо корелює з рекреаційним навантаженням на територію: чим простіше та швидше дістатися до об'єкта, тим вищий ризик деградації природних комплексів через масове відвідування [1]. Матричне моделювання, представлене в нашій роботі [2] дає наочну картину фактичних відстаней від кожного міста. Однак для отримання інтегральної кількісної оцінки, яка враховує не лише географію, а й демографічний «ваговий» фактор, в геоурбаністиці та транспортній географії застосовується низка математико-картографічних моделей [3].

Базовим індикатором просторового аналізу є показник середньої віддаленості, який розраховується як середня арифметична відстань від усіх центрів розселення (міст) до конкретного рекреаційного об'єкта [4]. Чим менше значення цього показника, тим кращою є загальна просторова доступність локації, оскільки вона має найменше "середнє плече" доїзду. Цей показник відображає суто географічне положення об'єкта відносно центрів розселення та використовується для картування "географічного серця" туристичного регіону. За рівнем середньої віддаленості виділяють об'єкти високої доступності (< 80 км), що формують "центральний пояс", середньої доступності (80–110 км), які потребують повноцінної поїздки та низької доступності (> 110 км), до яких належать віддалені атракції

Для більш точної оцінки, що враховує демографічний фактор та реальну інтенсивність потенційних туристичних потоків, застосовується гравітаційна модель - показник потенціалу доступності [5]. Цей індикатор базується на логіці, що доступність до великого міста з чисельним населенням є вагомішою, ніж до малого населеного пункту. Саме цей показник найкраще підходить для оцінки інвестиційної привабливості локацій. Оскільки значення потенціалу можуть суттєво відріхнятися, для їх аналізу доцільно застосовувати логарифмічну логіку або виділяти аномальних лідерів. За цим критерієм об'єкти поділяються на зони: екстра-доступності (> 20), що розташовані в межах найбільших агломерацій; високої доступності (5–20) з потужним потенціалом доїзду; помірної (3–5), що охоплює більшість природних об'єктів та обмеженої доступності (< 3) з низьким "тиском" населення.

Мережеву роль об'єктів у туристичній системі регіону розкриває Індекс центральності Шимабеля (Cj) [6]. Він показує, наскільки об'єкт наближений до географічного центру транспортної мережі та чи може слугувати логістичним вузлом. Середнє значення індексу зазвичай становить близько 1,0–1,2. Відповідно до нього виділяють: центральні об'єкти (> 1,4), які є "ядром" системи та найрівномірнішим чином віддалені від усіх точок; проміжні (1,0–1,4), що мають добрі транспортні зв'язки з більшістю міст; та периферійні (< 1,0), які виступають об'єктами переферійний маршрутів або крайніх точок області

Проте найбільш репрезентативним для оцінки реального рекреаційного навантаження виступає середньозважена відстань за населенням. Такий підхід об'єктивно відображає реальні витрати часу та дистанцію, яку відчуває середньостатистичний житель. За цим показником дестинації класифікуються на чотири групи: I клас - локальна доступність (< 60 км), об'єкти якої можна відвідати спонтанно за кілька годин; II клас - регіональна доступність (60–100 км), що передбачає поїздку на один повний день; III клас - дистанційна доступність (100–150 км), яка потребує попереднього планування та часто ночівлі; IV клас - важкодоступні периферійні території (> 150 км), якими зазвичай є віддалені гірські райони [7].

Для практичної апробації підібраних методик проведено розрахунок ключових індексів просторової доступності для 14 репрезентативних рекреаційних об'єктів Закарпатської області. У Таблиці 1 застосовано метод багатовимірного кольорового кодування за всіма чотирма критеріями оцінки.

Таблиця 1

Матриця комплексних показників (Heatmap)

	Сер. Відстань		Потенціал		Індекс Шимабеля		Сер-зважена відст.	
Ужгородський замок	108.5	M	78.51	VH	1.02	P	44.1	H
Замок Паланок	72.3	H	23.84	VH	1.53	C	47.3	H
Чорногірський масив	82.5	H	25.4	VH	1.34	C	58.2	H
Курорт "Воєводино"	114	L	11.82	VH	0.97	P	61.7	H
Чинадіївський замок	75.9	H	11.21	VH	1.49	C	63	H
Долина нарцисів	70.6	H	3.74	M	1.56	C	86.5	M
Оленяча ферма	62.7	VH	3.55	M	1.76	C	87.9	M
Селиська сироварня	68.5	H	3.92	M	1.61	C	92.9	M
Верецький перевал	112.2	L	4.62	M	0.98	P	96.8	M
НПП Синевир	96.3	M	3.12	M	1.14	I	110.6	L
Водоспад Шипіт	102.1	M	2.83	L	1.08	I	111.2	L
Колочава (музеї)	99.5	M	2.24	L	1.11	I	126.6	L
Водоспад Труфанець	152.7	VL	1.81	VL	0.72	VP	191.3	VL
Термальні води «Косонь»	165	VL	1.45	VL	0.67	VP	204.6	VL

Використано чотирирівневу шкалу: зелений колір маркує оптимальні показники (висока та максимальна доступність, значний потенціал, роль ядра

мережі), помаранчевий - середні та транзитні умови, червоний - обмежені показники та периферійність, а фіолетовий - екстремальну ізольованість і мінімальний інвестиційний потенціал.



Рис.1. Просторова та логістична доступність рекреаційних об’єктів Закарпаття.

За комплексними індексами абсолютними лідерами є Замок Паланок, Чорногірський заповідний масив та Ужгородський замок. Однак термальні води «Косонь» (громада-лідер за зборами) за загальними індексами потрапляють у зону мінімальної доступності та глибокої периферії. Це пояснюється великою відстанню від східних міст. Водночас саме від Ужгорода (54 км) та Мукачева (38 км) об'єкт знаходиться в «зеленій» зоні, що підтверджує висновки про акумуляцію величезних потоків «денних» візитерів і критичне стаціонарне перевантаження. Чорногірський заповідний масив має високі загальні показники (висока середня віддаленість, дуже високий потенціал, центральний мережевий статус). Це зумовлено близькістю до східних хабів (Рахів, Ясіня). Протевід західних громад-лідерів відстань сягає 222 км («сіра зона»), тому весь масовий потік концентрується виключно в точках входу маршрутів, спричиняючи лінійну дигресію стежок (IV стадія). НПП «Синевир» демонструє помірні загальні індекси, але завдяки глибокому «провалу» на осі Міжгір'я (11 км) акумулює значну частину потоків із центральних громад, що відповідає точковому перевантаженню берегової зони.

Таким чином, індексний аналіз (табл. 1) доповнює матричне моделювання і чітко показує, чому однакові локації можуть мати різний рівень навантаження залежно від того, з яких саме громад надходить основний потік туристів. Це забезпечує повну логічну єдність між динамікою туристичних зборів, транспортними відстанями та інтегральними показниками доступності.

Найчисельнішу групу формує транзитний пояс регіональної доступності із середньозваженою відстанню 60–100 км: Курорт «Воєводино», Чинадіївський замок, Долина нарцисів, Оленяча ферма, Селиська сироварня та Верецький перевал. Завдяки високим показникам центральності ці локації утворюють оптимальний логістичний каркас області. Вони забезпечують стабільний та добре керований потік одноденних візитерів, виступаючи зручними проміжними вузлами.

Гірські локації (НПП Синевир, водоспад Шипіт, Колочава) належать до зони дистанційної доступності (понад 110 км), де транспортна віддаленість працює як природний фільтр, роблячи туризм цільовим. Найбільш ізольованими виявилися водоспад Труфанець та Термальні води «Косонь» (близько 200 км за загальними індексами), що опинилися у глибокій логістичній периферії. Через складність доїзду до цих об'єктів (з точки зору середніх показників) весь туристичний тиск концентрується виключно на коротких під'їзних маршрутах, спричиняючи інтенсивну лінійну руйнацію ландшафтів.

Література

1. Васюк І. М., Гаврилюк А. М., Гасюк М. І. Геоінформаційне моделювання рекреаційного потенціалу територій. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28, № 8. С. 76–80. DOI: https://doi.org/10.15421/40280816
2. Максименко Н.В., Коротецька Є.С. Інновації в організації екологічного (зеленого) туризму: регіональні особливості // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія». 2025. № 32. С. 39-60. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-03
3. Смирнов І. Г. Логістика туризму : навч. посіб. Київ : Знання, 2009. 444 с. URL: https://tourlib.net/books_tourism/smyrnov.htm
4. Любіцева О. О., Третяк О. В. Геопросторовий аналіз туристичного ринку: методологія та практика. *Географія та туризм*. 2015. Вип. 32. С. 12–25. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gt_2015_32_4
5. Дудник І. М. Вступ до загальної теорії систем і системного аналізу : навч. посіб. Полтава : ПУЕТ, 2014. 235 с. URL: http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/2202/1/Dudnik_Vstup.pdf
6. Третяк В. М., Колісник А. В. Визначення транспортної доступності при формуванні туристичних маршрутів з допомогою QGIS та GRASS GIS. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. Вип. 76. С. 297–307. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.76.297-307
7. Топчієв О. Г., Мальчикова Д. С., Яворська В. В. Регіоналістика і просторове планування : підручник. Київ : Ліра-К, 2020. 372 с. URL: https://dspace.onu.edu.ua/bitstream/123456789/30282/1/Topchiyev.pdf

УДК 502.131.1:711.4(477.54)

ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА КОМПЛЕКСНОГО ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ РОГАНСЬКОЇ СЕЛИЩНОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

***Панова М.С.**, здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна*
***Тітенко Г.В.**, к. геогр. н., доцент, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна*

Комплексне просторове планування територіальних громад в умовах децентралізації є одним із ключових інструментів узгодження соціально-економічного розвитку, землекористування та охорони довкілля. Відповідно до чинного законодавства комплексний план просторового розвитку території територіальної громади поєднує функції містобудівної документації та документації із землеустрою, визначає функціональне призначення територій, планувальні обмеження, напрями формування інженерної, транспортної та екологічної інфраструктури [1]. Для громад, що зазнали воєнного впливу, екологічна складова такого планування набуває особливої ваги, оскільки офіційні матеріали часто не відображають актуального стану локальних порушень, а управлінські рішення потребують польової верифікації.

Метою дослідження є обґрунтування ролі екологічної складової у комплексному просторовому плануванні Роганської селищної територіальної громади Харківського району Харківської області на основі аналізу природно-екологічних умов, матеріалів комплексного плану та результатів польового обстеження окремих локацій у межах с. Хроли. Роганська СТГ є показовим об’єктом для такого аналізу, оскільки поєднує приміське положення поблизу м. Харкова, аграрне землекористування, наявність малих водних об’єктів, транспортне навантаження та наслідки бойових дій.

Методичну основу роботи становили аналіз нормативно-правової бази та матеріалів просторового планування, картографічний і порівняльний аналіз, польове обстеження території, фотофіксація екологічних порушень і відбір зразків ґрунту. Польовий етап був зосереджений на чотирьох характерних локаціях у межах с. Хроли: прибережній зоні ставку, території птахофабрики «Зоря» та прилеглих ландшафтах, сільськогосподарських угіддях, а також ділянці несанкціонованого сміттєзвалища поблизу орних земель. Такий підхід дозволив перейти від загальної характеристики громади до просторово конкретизованої оцінки екологічних ризиків.

Аналіз природних умов свідчить, що територія громади розташована у зоні поширення цінних чорноземних ґрунтів, які використовуються переважно як орні землі. Водночас ґрунтовий покрив зазнав додаткового навантаження внаслідок бойових дій: на території громади зафіксовано значну кількість вирв, пов'язаних із бомбтурбацією, що створює ризики механічного руйнування ґрунтового профілю, локального забруднення важкими металами та залишками вибухових речовин [2]. Водні об'єкти громади належать до басейну Сіверського Дінця, мають важливе значення для формування природно-екологічного каркасу території та потребують встановлення водоохоронних обмежень відповідно до вимог Водного кодексу України [3].

Польове обстеження прибережної зони ставку Хроли виявило накопичення побутових відходів, ознаки евтрофікації водного об'єкта, наявність будівельних і деревних відходів у водному середовищі, а також сліди спалювання відходів у межах водоохоронної зони. Ці прояви свідчать про поєднання рекреаційного, побутового та організаційно-управлінського навантаження. Для просторового планування це означає необхідність чіткого винесення меж прибережних захисних смуг у кадастрову та містобудівну документацію, запровадження обмежень щодо забудови і розорювання, ліквідації засмічень та створення контрольованої рекреаційної інфраструктури.

Територія птахофабрики «Зоря» та прилеглі ландшафти репрезентують інший тип екологічного ризику - порушені агропромислові території з воєнними пошкодженнями. Зафіксовані руйнування виробничих споруд, ділянки оголеного ґрунту, скупчення поверхневих вод, порушення ґрунтового покриву в лісосмузі, а також органолептичні ознаки залишків відходів птахівництва. У просторовому плані така територія має розглядатися як об'єкт пріоритетної інженерно-екологічної інвентаризації та рекультивації. Прилегла лісосмуга, попри локальні порушення, зберігає відновлювальний потенціал і повинна бути закріплена як елемент екологічної мережі та буфер між промисловими й сільськогосподарськими землями.

Особливої уваги потребує несанкціоноване сміттєзвалище поблизу сільськогосподарських угідь. Його просторове розміщення біля посівів формує ризик забруднення ґрунтів, підземних вод і агропродукції токсичними речовинами. Відсутність огорожі, ізоляції та дренажної системи посилює неконтрольоване поширення забруднення. У комплексному плані такі ділянки доцільно відображати не лише як об'єкти санітарного впорядкування, а як локальні зони екологічного ризику, що потребують ліквідації, подальшого ґрунтового моніторингу та

недопущення використання забруднених площ для виробництва харчової продукції.

Отже, екологічна складова комплексного просторового планування Роганської СТГ має включати не формальне узагальнення природоохоронних вимог, а систему просторово прив'язаних рішень: охорону водних об'єктів і прибережних смуг, рекультивацію порушених агропромислових територій, збереження лісосмуг, ліквідацію стихійних сміттєзвалищ, контроль стану ґрунтів на ділянках воєнного впливу та обмеження господарського використання екологічно небезпечних зон. Польова фотофіксація та вибірковий відбір зразків ґрунту є важливими інструментами верифікації планувальних рішень, особливо в умовах нестачі актуальних даних моніторингу.

Проведене дослідження підтверджує, що комплексний план просторового розвитку громади повинен виконувати не лише регулятивну, а й превентивну природоохоронну функцію. Для Роганської СТГ пріоритетними напрямами є формування локальної системи екологічного моніторингу, актуалізація просторових обмежень у межах водоохоронних та потенційно забруднених територій, а також інтеграція заходів післявоєнного відновлення у стратегію сталого розвитку громади.

Література

1. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17 .

2. Роганська селищна військова адміністрація. Заява про визначення обсягу стратегічної екологічної оцінки комплексного плану просторового розвитку території Роганської селищної територіальної громади Харківського району Харківської області. URL: https://roganska-gromada.gov.ua .

3. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80 .

4. Методика гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу / В. В. Гребінь та ін. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.

УДК 502.131.1:338.48:352/354

ВІДНОВЛЕННЯ СОРОЧИНСЬКОГО ЯРМАРКУ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВЕЛИКОСОРОЧИНСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

***Проценко А.О.**, здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти,*
***Тітенко Г. В**., канд. геогр. наук, доцент,*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
м. Харків, Україна

В умовах повоєнного відновлення України територіальні громади мають формувати не лише інфраструктурні та економічні рішення, а й нову якість місцевого розвитку, орієнтовану на екологічну безпеку, соціальну згуртованість, культурну ідентичність та раціональне природокористування. Для Великосорочинської сільської територіальної громади Полтавської області особливе значення має відновлення Сорочинського ярмарку як унікального культурно-туристичного явища, яке може стати символом повернення до мирного життя та інструментом реалізації стратегії сталого розвитку громади.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що Сорочинський ярмарок має потенціал багатофункціонального елементу місцевої політики: культурного бренду, платформи підтримки малого бізнесу, простору соціальної інтеграції, механізму розвитку зеленого туризму та чинника формування позитивного іміджу громади. Водночас його відновлення має здійснюватися з урахуванням екологічних обмежень території, а саме стану земельних і водних ресурсів, транспортного навантаження, поводження з відходами, збереження природних ландшафтів та адаптації до кліматичних ризиків.

Об’єктом дослідження є відновлення Сорочинського ярмарку як складова стратегії сталого розвитку Великосорочинської територіальної громади. Предметом дослідження є екологічні, соціально-економічні та управлінські умови інтеграції ярмаркового простору у повоєнну модель місцевого розвитку. Метою дослідження є обґрунтування напрямів екологічно орієнтованого відновлення Сорочинського ярмарку як інструменту сталого розвитку громади.

Методологічну основу дослідження становлять аналіз і синтез інформації щодо природних та антропогенних умов розвитку громади, SWOT-аналіз, цільовий аналіз, аналіз зацікавлених сторін, елементи стратегічного планування та екологічного менеджменту. Такий підхід дає змогу розглядати Сорочинський ярмарок не ізольовано як подію, а як комплексний проєкт, що поєднує економічні, культурні, соціальні та екологічні пріоритети.

Великосорочинська громада має значний потенціал для сталого розвитку. Її територія характеризується сприятливими природними умовами, переважанням родючих ґрунтів, наявністю водних об’єктів, аграрною спеціалізацією, історико-культурною спадщиною та впізнаваним туристичним брендом. Центром громади є

село Великі Сорочинці, відоме завдяки щорічному Сорочинському ярмарку. Площа громади становить 408,3 км², до її складу входить 21 населений пункт, а сільськогосподарські землі займають понад 72 % земельного фонду. Це формує ресурсну базу для розвитку аграрного виробництва, фермерства, локальної переробки, зеленого туризму та подієвої економіки.

Разом з тим територія має екологічні та інфраструктурні обмеження, які необхідно враховувати при відновленні ярмарку. До них належать проблеми поводження з відходами, недостатній розвиток туристичної інфраструктури, якість питної води, стан доріг, ризики забруднення від транспортних потоків, аграрного виробництва та об'єктів видобування нафти й газу. Окремою проблемою є мала частка територій та об'єктів природно-заповідного фонду, що знижує екологічну стійкість території та потребує посилення природоохоронного компонента у стратегії розвитку.

З позицій екологічного менеджменту відновлення Сорочинського ярмарку має розглядатися як проєкт, що потребує попередньої оцінки навантаження на довкілля. Йдеться не лише про короткочасне збільшення кількості відвідувачів, а й про концентрацію транспортних потоків, тимчасової торгівлі, харчових послуг, генерацію побутових відходів, використання води, енергоспоживання, шумове навантаження та ризики деградації рекреаційних ділянок. Тому важливо перейти від моделі «ярмарок як масовий захід» до моделі «ярмарок як керована стала подія».

Екологічно орієнтована модель відновлення Сорочинського ярмарку має передбачати: запровадження роздільного збору відходів і обмеження одноразового пластику; укладання договорів із відповідальними операторами вивезення та переробки; створення перехоплювальних паркувальних зон і тимчасових шатлів; маркування пішохідних маршрутів; використання енергоощадного обладнання; організацію екоосвітніх локацій, майстер-класів з відповідального споживання, презентацій локальних виробників, фермерських ініціатив, традиційних ремесел та природоохоронних проєктів громади.

Важливо інтегрувати Сорочинський ярмарок до системи місцевого економічного розвитку. Його відновлення може підтримати мале підприємництво, фермерські господарства, зелені садиби, локальну гастрономію, креативні індустрії та зайнятість населення, зокрема внутрішньо переміщених осіб. У цьому контексті ярмарок може стати не лише сезонною подією, а постійним брендом громади, навколо якого формується мережа туристичних маршрутів, освітніх програм, культурних подій і підприємницьких ініціатив.

До процесу відновлення ярмарку мають бути залучені органи місцевого самоврядування, мешканці громади, підприємці, фермери, освітні й культурні установи, екологічні фахівці, туристичний бізнес, волонтерські ініціативи, представники ВПО та потенційні міжнародні партнери. Саме міжсекторна взаємодія дозволить уникнути ситуації, коли ярмарок розглядається лише як комерційна або культурна подія. У стратегії сталого розвитку громади він має бути

визначений як інструмент територіальної згуртованості, економічного пожвавлення та екологічної модернізації.

З управлінської точки зору доцільно сформувати локальний план сталого відновлення Сорочинського ярмарку. Він має включати екологічний регламент проведення заходу, схему поводження з відходами, транспортну схему, вимоги до тимчасової торгівлі, критерії відбору учасників, систему моніторингу впливів на довкілля, комунікаційну кампанію та механізм післяподієвої оцінки. Окремо варто передбачити індикатори ефективності: кількість учасників, частку локальних виробників, обсяг відсортованих відходів, кількість екоосвітніх активностей, рівень залучення мешканців, економічний ефект для громади та мінімізацію екологічних порушень.

В цілому, слід зазначити, що Сорочинський ярмарок є унікальним ресурсом Великосорочинської громади, який може виконувати функцію каталізатора повоєнного відновлення. Його сталість залежить від здатності громади поєднати туристичну привабливість із екологічною безпекою, економічну активність із відповідальним природокористуванням, а культурну традицію з інноваційними управлінськими рішеннями. Найбільш доцільними напрямами є впровадження системи роздільного збору відходів, екологізація транспортної логістики, розвиток зеленого туризму, підтримка локальних виробників, залучення ВПО до економічних і культурних ініціатив, створення екоосвітніх локацій та запровадження моніторингу впливу ярмарку на довкілля. За таких умов Сорочинський ярмарок може стати не лише символом культурної пам’яті, а й практичним механізмом сталого розвитку громади.

Література

1. Проценко А. Екологічні умови та обмеження повоєнного розвитку Великосорочинської сільської територіальної громади Полтавської області : кваліфікаційна робота бакалавра. Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025. 53 с. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/items/8d2a4967-24d0-4f13-aa32-41ff31ef2d93

2. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20 березня 2018 р. № 2354-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/

3. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 695. URL: https://zakon.rada.gov.ua/

4. Стратегія сталого розвитку України до 2030 року : проєкт. URL: https://www.ua.undp.org/

СЕКЦІЯ 5. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І КЛІМАТИЧНО НЕЙТРАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

RENEWABLE ENERGY, ENERGY EFFICIENCY AND CLIMATE-NEUTRAL TECHNOLOGIES

UDC 504.062; 621.316

SOLAR ENERGY: DEVELOPMENT OPPORTUNITIES IN UKRAINE

Lebedeva I. L*, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor*
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

One of the most pressing and painful problems for Ukraine in the context of prolonged military aggression by Russia is the provision of energy resources. And this is not only an economic problem, it is a problem of creating normal living conditions for the country's population. The aggressor's targeted attacks on our country's energy infrastructure are a key component of military actions aimed at destroying the life support system. As a result of damage to energy facilities in many regions of Ukraine, power supply, as well as water and heating, were cut off for a long time, and communication disruptions occurred.

Electricity supply in Ukraine is mainly centralized. The Unified Energy System of Ukraine is a set of power plants, electric and thermal energy transmission networks and other electric power facilities that are united by a common mode of production, transmission and distribution of electric and thermal energy. Electricity production is mainly based on the use of thermal and hydroelectric power plants, as well as nuclear power plants. During active hostilities, enemy attacks are directed not so much at energy transmission facilities as directly at facilities that produce electricity. As a result, during the war years, Ukraine lost a significant part of its thermal power plants, since they are mainly located in the Donbas. In June 2023, the Kakhovka HPP was destroyed, in March 2024 the Dnipro HPP was significantly damaged, the Dniester HPP, Kyiv HPP, Kaniv HPP and Kremenchug HPP were damaged, and the Zaporizhian NPP is under Russian occupation. As of the beginning of 2026, Ukraine had lost more than 27 GW of generating capacity, of which about 15.5 GW were lost due to the occupation of power facilities (including the Zaporizhian NPP). Thus, the share of electricity produced by traditional methods has significantly decreased. Although electricity consumption has decreased by almost a third, the issue of developing alternative energy sources is becoming increasingly pressing.

In peacetime, the development of “green energy” was considered mainly as a way to protect the environment, since solar energy uses an inexhaustible source of energy, does not produce harmful waste, and is environmentally friendly [1]. In addition, for Ukraine, solar energy production is quite efficient, since a large number of days during the year are rich in sunlight [2]. In times of war, the development of solar energy becomes a guarantee of stability. And several factors contribute to this. First, it is the dispersion of energy facilities. The traditional energy system consists of large facilities and that is why it is vulnerable. Solar power plants are panels on the roofs of houses, therefore, thousands of small facilities. Secondly, it is

the speed of deployment. If the construction of a new power unit of a thermal power plant or nuclear power plant lasts for years, then a solar power plant can be installed on the roof of an enterprise or a private house in a few days or weeks. Third, energy autonomy. Using solar panels allows for power to be supplied during power outages. This is especially important for ensuring the uninterrupted operation of critical infrastructure as a whole or for maintaining the most frequently used home appliances.

Currently, the share of electricity generated by households using private solar power plants and other types of "green energy" is very small in the country's overall balance. Thus, the total share of electricity from renewable energy sources (RES) – solar power plants, wind power plants, bioenergy and small hydropower – in the overall electricity generation structure in 2020 was 6.8% (versus 3.3% in 2019). The report of NPC Ukrenergo [3], which is the only operator of the electricity transmission system in Ukraine, emphasizes that positive trends in the renewable energy market are observed due to the adoption of the Law of Ukraine "On Amendments to Certain Laws of Ukraine on the Restoration and "Green" Transformation of the Energy System of Ukraine" No. 3220-ИХ [4]. The results of monitoring by the consulting company ExPro Consulting show that in 2024 the share of all types of "green" energy in the energy balance of Ukraine increased to almost 11% [5]. Unfortunately, the increase in the share of renewable energy is due not so much to the commissioning of new capacities, but to a significant reduction in the share of thermal generation due to massive shelling of the energy system. In January 2025, electricity production from renewable sources decreased by 8% compared to January 2024 [4], but compared to January 2023, it increased by 14.5%.

Let's consider what obstacles prevent the spread of solar energy in Ukraine. It is clear that during hostilities there are certain financial difficulties, since any investment is associated with risks. Due to the high probability of new shelling, investors are afraid to invest in large facilities, and this is one of the main deterrent factors. There is also a shortage of personnel - there are not enough qualified installers and designers. However, there are also technical problems associated with equipment. Solar generation is an unstable process, as it depends on the weather and time of day. Therefore, in addition to solar panels, it is necessary to have sufficiently powerful batteries to be able to store and accumulate energy. Typically, the battery capacity should be sufficient to create a reserve of energy for 4–8 hours of operation of critical devices. This is necessary to ensure the autonomy of a business, critical infrastructure facilities or a house. It should be noted that the cost of the battery is from 40% to 60% of the cost of the entire solar station. While the panels themselves have become much cheaper in recent years, the price of high-quality lithium batteries remains at a high level. At the same time, batteries have a limited resource. Lead-acid AGM/Gel batteries are cheap, but they can withstand 300–500 charge cycles, that is, they work for 1.5–2 years. They are also afraid of deep discharge. Lithium iron phosphate LiFePO4 batteries better meet the modern standard. They can withstand 4000–6000 cycles, that is, they work for 10–15 years, but they cost 3–4 times more than AGM/Gel [7]. It should be borne in mind that batteries for solar power plants are sensitive to both high and low temperatures, which also creates problems during their operation. So, as for the technical problems of operating a solar power plant, they are related to the operation of

batteries, and solar panels are quite reliable and durable, and their cost is also gradually decreasing. In addition, a significant problem is the disposal of used panels.

If we are talking about creating an industrial-type solar power plant, then another problem arises. The location of such a solar power plant requires large areas of land. When calculating the area of a land plot for installing a solar power plant of a certain capacity, it is first necessary to determine the type of photovoltaic panels, their electrical characteristics and physical size. So, the first step is an energy audit. You need to measure how many kWh your facility consumes per day, and determine which devices you need to choose to provide this capacity. A modern panel, which is capable of producing 550–600 W, has an area of about 2.6 m². For example [8], for the installation of a 100 kW solar power plant, we will take monocrystalline solar panels, which are characterized by high efficiency. To provide the required power of the solar power plant, 153 such panels will be needed. Taking into account their size and angle of inclination (the optimal angle is 30–35 degrees for summer or 45+ for winter), an area of 485.2 m² will be required for their installation. In the event that you choose polycrystalline batteries, which are characterized by average efficiency, you will need 299 panels, and for their installation you need to allocate a land plot with an area of 581.26 m². And this land plot must be free from trees, chimneys or neighbouring buildings. In general, the vastness of Ukraine and its climatic conditions allow for the allocation of such areas for the construction of solar power plants.

Therefore, despite the existing problems, the successful development of solar energy is possible, it is both the need of the hour and, in the future, the key to the recovery of the Ukrainian economy.

References

1. Савчук Є. В. (2019). Перспективи розвитку сонячної енергетики України. *World Science, 6*(46), 42-44. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30062019/6575
2. Стратічук Н. В. (2019). Перспективи розвитку сонячної енергетики на території Херсонської області. Таврійський науковий вісник, 110, Ч. 2, 222-230. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.29
3. Стан ринку ВДЕ: підсумки 2023 року. URL: https://kenk.com.ua/stan-rinku-vde-pidsumki-2023-roku/ (date of application: 18.04.2026)
4. Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та "зеленої" трансформації енергетичної системи України» № 3220-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text (date of application: 18.04.2026)
5. Екополітика. URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-2024-roci-chastka-vde-v-energobalansi-ukraini-sklala-majzhe-11/ (date of application: 18.04.2026)
6. Д. Орлова. Зростання "зеленої" генерації в Україні: підсумки 2024-го року та плани на 2025-ий. URL: https://delo.ua/opinions/zrostannya-zelenoyi-generaciyi-v-ukrayini-pidsumki-2024-go-roku-ta-plani-na-2025-ii-442163/ (date of application: 18.04.2026)
7. Ефективна СЕС для бізнесу: як вибрати акумулятори для сонячних панелей? URL: https://logicpower.ua/ua/blog/kak-vybrat-akkumulyatory-dlya-solnechnyh-panelej?srsltid=AfmBOopMrvJCQ32r-bDKiWuX_dT5ICMEsCUmyf25uQ4ZVfz6qMYi7nnr
8. Яка площа потрібна для сонячної електростанції? URL: https://www.solargarden.com.ua/yaka-ploscha-potribna-dlya-sonyachnoi-elektrostantsii/ (date of application: 18.04.2026)

УДК 620.92:004.8:621.311

ВИКОРИСТАННЯ PINN ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОБОВОЇ СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

***Гарячевська І. В.**, Ph.D. in Engineering, доцент, **Протектор Д. О.** Ph.D. (Applied Physics and Nanomaterials), доцент, **Содін Є. С.**, магістр прикладної фізики, аспірант кафедри інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна*

Ефективне керування енергією в сучасних будинках неможливе без точного прогнозу сонячної генерації. Ця робота продовжує цикл досліджень інтелектуальних систем IREMS [1, 2], у яких прогноз сонячної генерації є ключовим елементом прийняття рішень. У попередніх роботах було запропоновано гібридний підхід, що поєднує фізичне моделювання та методи машинного навчання для прогнозування генерації фотоелектричної установки.

Аналіз результатів валідації показав, що складні моделі машинного навчання можуть втрачати здатність до узагальнення [7] при обмеженому обсязі даних, тоді як простіші моделі демонструють більш стабільну поведінку.

У даній роботі запропоновано використання reduced-order physics-informed neural network (PINN), яка поєднує дані вимірювань із фізичними обмеженнями, зокрема тепловою динамікою фотоелектричних панелей та залежністю потужності від опромінення і температури.

Базова реалізація (MVP-1) спрямована на підвищення точності та фізичної узгодженості прогнозу. Подальший розвиток (MVP-2) передбачає інтеграцію моделі з динамікою акумулятора та балансом потужності, що дозволить перейти до повноцінного physics-informed енергоменеджменту.

Ключові слова: сонячна енергетика, прогнозування генерації, PINN, фотоелектричні системи, енергоменеджмент.

1. Постановка задачі

Сучасні житлові енергетичні системи активно інтегрують відновлювані джерела енергії [1], зокрема фотоелектричні установки та акумуляторні накопичувачі. Ефективність таких систем значною мірою залежить від точності прогнозування добової генерації, оскільки саме цей параметр визначає стратегію заряджання акумулятора, розподіл навантаження та взаємодію з електромережею

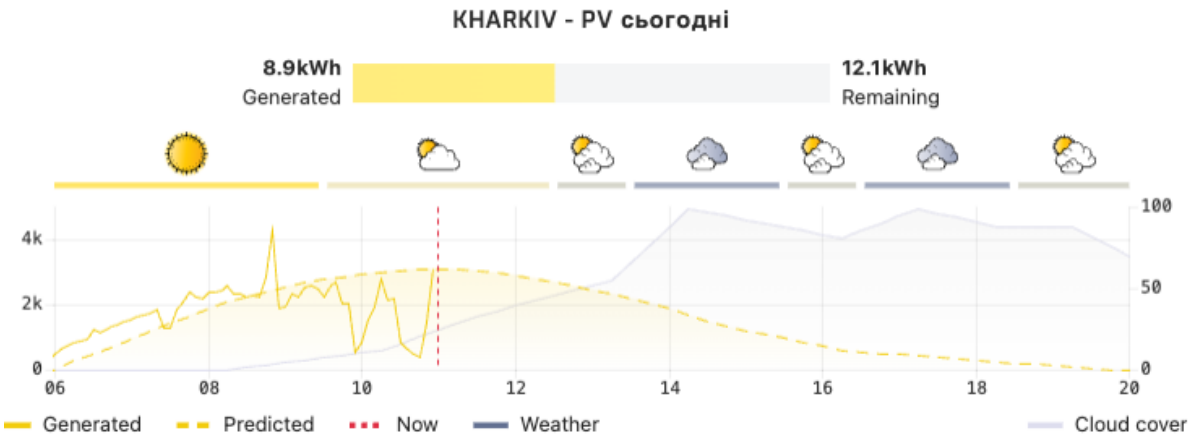


Рис. 1. Приклад добового профілю генерації та прогнозу
(власні експериментальні дані)

Як видно з рис. 1, фактична генерація суттєво відхиляється від прогнозованої через вплив погодних умов, зокрема хмарності, що призводить до різких нелінійних змін потужності.

У попередньому дослідженні було запропоновано гібридний підхід [2], [5], у якому фізична модель використовується як базова, а машинне навчання виконує роль коректора.

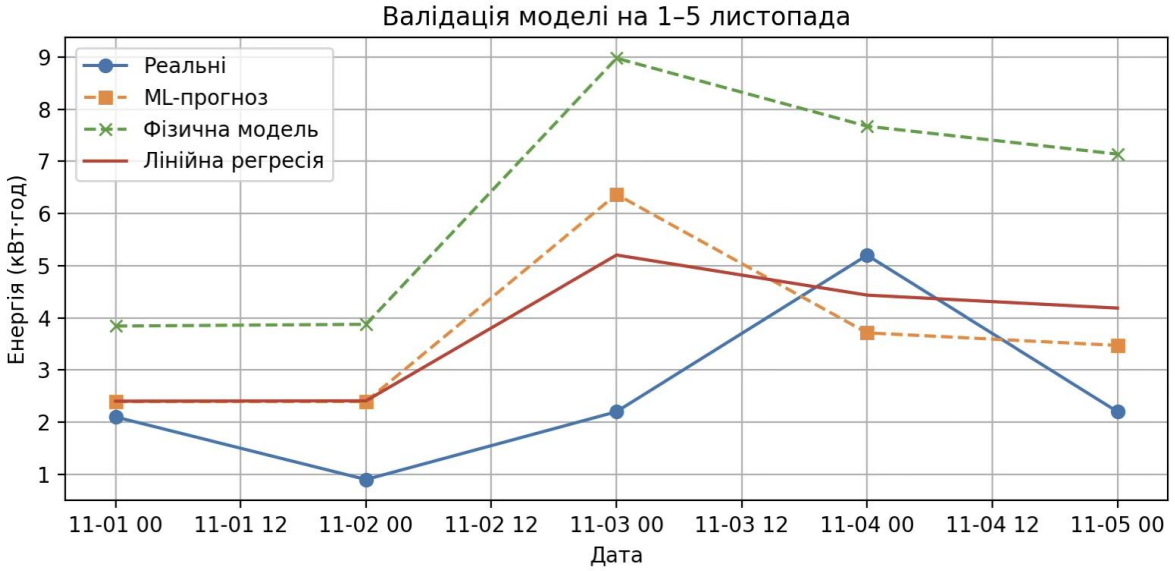


Рис. 2. Валідація моделей прогнозування (за попереднім дослідженням)

Результати показали, що:

- фізична модель має систематичну похибку;
- складні ML-моделі схильні до перенавчання [7];
- проста регресія демонструє кращу стабільність.

Це вказує на необхідність використання підходів, які поєднують фізику процесів і навчання на даних [10].

2. Використання PINN

Physics-Informed Neural Networks (PINN) [8, 9] — це клас моделей, які навчаються не лише на даних, але й з урахуванням фізичних законів, заданих у вигляді диференційних рівнянь. У даній роботі PINN використовується для апроксимації:

$$\hat{P}_{pv}(t), \quad \hat{T}_{pv}(t)$$

урахуванням наступних фізичних співвідношень:

2.1 Теплова динаміка панелі

$$C_{th}\frac{dT_{pv}}{dt} = \alpha G_{POA} - h(T_{pv} - T_{amb}) - \beta P_{pv}$$

2.2 Фізична залежність генерації

$$P_{pv} = P_{STC}\frac{G_{POA}}{1000}[1 - \gamma(T_{pv} - 25)]$$

2.3 Внесення поправки через PINN

Фізична модель часто не враховує локальні чинники: раптову хмарність, затінення від сусідніх об'єктів (мікротіні), ККД конкретного інвертора або навіть рівень пилу на панелях. PINN виступає в ролі "розумного коректора", який вивчає ці нелінійні поправки та накладає їх на ідеальну фізичну формулу

$$P_{real} \approx P_{physics} + \Delta_{PINN}$$

де Δ_{PINN} — нелінійна поправка, яка враховує:

- хмарність
- мікротіні
- втрати інвертора
- забруднення панелей

Навчання відбувається шляхом мінімізації функції втрат:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{data} + \lambda_1\mathcal{L}_{thermal} + \lambda_2\mathcal{L}_{physics}$$

3. Очікуване покращення

Завдяки фізичним обмеженням, модель не "вигадує" аномальних значень там, де бракує даних, що робить її набагато надійнішою за класичне машинне навчання. Таким чином системну похибку фізичної моделі буде зменшено.

Особливо це актуально в умовах обмеженого набору даних та високої мінливості погодних умов.

4. Подальші дослідження

Подальші етапи включають:

- Інтеграцію моделі з динамікою акумулятора:

$$\frac{dSOC}{dt} = \frac{\eta_{ch}P_{ch} - P_{dis}/\eta_{dis}}{E_{nom}}$$

- Врахування балансу потужності:

$$P_{pv} + P_{grid} + P_{dis} = P_{load} + P_{ch} + P_{loss}$$

- Розширення датасету до річного циклу.
- Використання погодних параметрів (вітер, вологість).
- Інтеграцію з IREMS для реального керування системою.

Кінцева мета – створити систему, яка не просто передбачає погоду, а розуміє фізику всього будинку: від сонячних панелей до хімії в акумуляторі

Література

1. Hariachevska, I., Protektor, D., & Sodin, Y. (2025). *Intelligent residential energy management system*. Грааль науки, (49).
2. Hariachevska, I., Protektor, D., & Sodin, Y. (2026). *Solar energy generation forecasting based on physical modeling and machine learning*. Грааль науки, (65), 630–636. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.03.04.2026.068
3. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). Wiley.
4. Yang, D., & Bright, J. M. (2020). Worldwide validation of 8 satellite-derived and reanalysis solar radiation products: A preliminary evaluation and overall metrics for hourly data over Europe. *Renewable Energy, 155*, 1110–1121.
5. Mayer, M. J., & Gróf, G. (2021). Extensive comparison of physical, machine learning and hybrid algorithms for solar photovoltaic power forecasting. *Applied Energy, 283*, 116239. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116239
6. Nespoli, A., Nicoli, E., Mussetta, M., & Ogliari, E. (2022). Impact of dataset size on the performance of machine learning models for solar radiation forecasting. *Energies, 15*(3), 892. https://doi.org/10.3390/en15030892
7. Hofste, J. G., & Lindfors, A. V. (2023). Validation of solar radiation data from open-access meteorological APIs for PV power simulation. *Solar Energy, 252*, 114–125.
8. Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics, 378*, 686–707. https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045
9. Karniadakis, G. E., Kevrekidis, I. G., Lu, L., Perdikaris, P., Wang, S., & Yang, L. (2021). Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics, 3*(6), 422–440. https://doi.org/10.1038/s42254-021-00314-5
10. Cuomo, S., Di Cola, V. S., Giampaolo, F., Rozza, G., Raissi, M., & Piccialli, F. (2022). Scientific machine learning through physics-informed neural networks: Where we are and what's next. *Journal of Scientific Computing, 92*, 88. https://doi.org/10.1007/s10915-022-01939-z

УДК 621.311.243

ПРОЕКТУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

***Рибальченко Є.С.**, студент, ХНУ ім. В.Н.Каразіна, **Кудрявцев І.М.**,*
к.ф.-м.н., *ХНУ ім. В.Н.Каразіна, м. Харків, Україна*

Стрімке зростання попиту на автономні джерела живлення для польових досліджень, військово-рятувальних операцій, медичних комплексів «у полі», телекомунікаційного та ІТ-обладнання обумовлює актуальність розробки високоефективних портативних сонячних електростанцій (ПСЕС). На відміну від стаціонарних фотоелектричних установок, портативні системи працюють в умовах жорстких обмежень щодо маси, габаритів, ударо- та вібростійкості, а також потребують швидкого розгортання і згортання комплексу у польових сценаріях.

Ключовими викликами при проектуванні ПСЕС є:

- енергетичне узгодження фотоелектричних модулів і силової електроніки (MPPT-контролерів, DC/DC-перетворювачів, інверторів);
- безпечне й довговічне керування акумуляторними системами у компактних корпусах;
- забезпечення допустимих теплових режимів для силової електроніки та батарей;
- виконання вимог стандартів IEC щодо електробезпеки, кліматичних і механічних випробувань портативних пристроїв.

Метою роботи є розроблення інтегрованого підходу до проектування ПСЕС з підвищеною питомою енерговіддачею, безпечністю та надійністю.

У роботі виходимо з однодіодної моделі фотоелемента з урахуванням послідовного та шунтувального опорів, температурної залежності напруги холостого ходу та струму короткого замикання. У стандартних умовах випробувань (STC: G = 1000 Вт/м², AM=1.5, Tcell = 25 °C) портативні монокремнієві модулі демонструють ефективність на рівні 19–22 %, проте в реальних польових режимах, коли температура зростає до 50–60 °C, це призводить до суттєвого зниження максимальної потужності (див. рис. 1).

Додаткові втрати пов’язані з частковим тінюванням (тінь від корпуса, рук оператора, гілок), падінням напруги на дротах та конекторах, а також неідеальною роботою MPPT-алгоритмів у режимах низького чи змінного навантаження. Для портативних систем особливо критичним є питомий показник «Вт·год/кг», оскільки користувач переносить комплект на собі або у транспортному модулі обмеженої вантажопідйомності.

З урахуванням цих факторів авторами запропонована ПСЕС, структурна схема якої представлена на рис. 2, що орієнтована на класичну для польових застосувань 12,8-вольтову шину на базі літій-залізо-фосфатної ($LiFePO_4$) збірки 4S із корисною ємністю 20–30 А·год. Така конфігурація забезпечує прийнятний компроміс між питомою енергією, безпечністю, цикловою довговічністю (3000+ циклів при DOD ≈ 80 %) та простотою BMS.

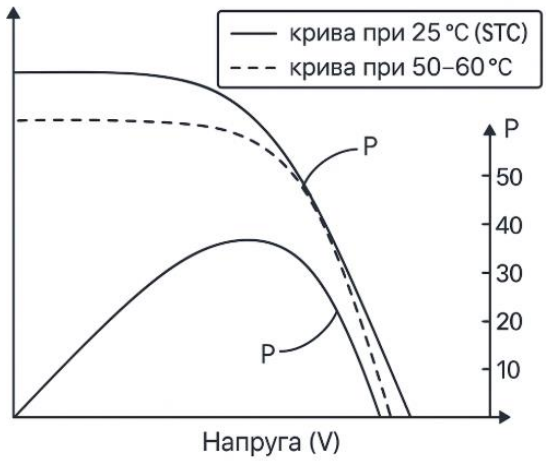


Рис.1. Графік ВАХ та P–V характеристики фотоелектричного модуля

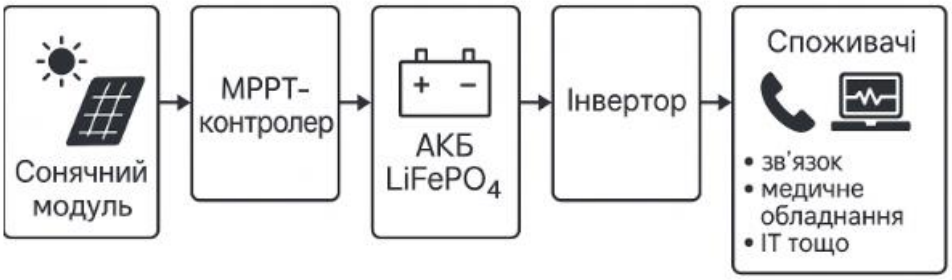


Рис.2. Структурна схема портативної сонячної електростанції

На вході використовується один або два кремнієві модулі сумарною піковою потужністю 80–120 Вт з робочою напругою в точці максимальної потужності 18–19 В (один модуль) або 32–36 В (два модулі послідовно), що дозволяє утримувати робочу точку всередині вікна MPPT-контролера з запасом по нижній межі 10–15 % навіть за часткового тінювання.

Енергетичний баланс, виконаний для «типового польового дня» (ясна погода, інтегральна інсоляція близько 5 кВт·год/м²) показує, що модуль потужністю 100 Вт з ефективною площею ~0,55 м², враховуючи температурні втрати, може забезпечити близько 0,40–0,45 кВт·год на виході MPPT. Після урахування втрат у дротах (до 2 %), перетворювачі постійного струму (ККД 95–97 %) та інверторі (ККД 92–94 % у робочому діапазоні) корисна добова енергія на навантаженні становить 0,35–0,40 кВт·год.

Цей варіант дозволяє, наприклад, забезпечити роботу телекомунікаційного чи медичного обладнання потужністю 30–50 Вт протягом 6–10 годин або короткочасну роботу навантаження 120 Вт упродовж 2–3 годин (через інвертор), зберігаючи резерв ємності для аварійних сценаріїв.

Силова частина ПСЕС реалізована на основі високоефективного MPPT-контролера з алгоритмом інкрементальної провідності, оптимізованим під роботу в

умовах часткового тінювання та змінного профілю навантаження. Для забезпечення високого ККД у всьому діапазоні потужності використано топологію синхронного понижувального перетворювача з максимальним ККД до 96–97 % при навантаженні 0,3…1,0 від номіналу.

Акумуляторний блок на основі $LiFePO_4$-елементів (4S, 20–30 А·год) спроектовано з допустимою глибиною розряду до 80 %. З урахуванням емпіричної залежності «ресурс – DOD» очікуваний ресурс батареї становить понад 3000 циклів при DOD ≈ 80 % і зростає до 3800–4200 циклів при зменшенні DOD до 50 %. Для підвищення безпечності застосовано плату BMS із точністю вимірювання напруги елементів не гірше 5 мВ, захистом від перезаряду, глибокого розряду, перевищення температури та короткого замикання.

Особлива увага приділена тепловому режиму. Розрахунки показують, що при тепловому опорі корпусу на рівні 5 К/Вт навіть 4 Вт втрати потужності у силовій частині дають підвищення температури на 20 °C відносно навколишнього середовища. Для уникнення перегріву застосовано теплопровідні вставки, раціональне розміщення компонентів, вентиляційні прорізи та рознесення «гарячих» вузлів від батарейного блока.

Для валідації запропонованих рішень створено експериментальний макет ПСЕС із стендом, що дозволяє вимірювати вольт-амперні характеристики модуля, ККД тракту «модуль–MPPT–акумулятор–інвертор–навантаження», а також температурні режими основних вузлів. Випробування проводились як у лабораторних умовах із використанням імітатора сонячного випромінювання, так і в польових умовах за різних рівнів інсоляції та часткового тінювання.

Результати показали, що в ясний день за правильного наведення модуля на Сонце добова енергія на шинах постійного струму досягає 0,40–0,45 кВт·год, що узгоджується з розрахунковими оцінками. Сумарний ККД силового тракту (від клем модуля до навантаження) у робочій зоні потужностей становить 82–86 %. В умовах часткового тінювання втрати потужності зменшуються завдяки використанню вдосконаленого MPPT-алгоритму, здатного виходити з локальних максимумів за 0,2–1,0 с.

Таким чином, у роботі запропоновано комплексний підхід до проектування портативних сонячних електростанцій, що поєднує фізичні моделі фотоелектричних модулів, особливості роботи MPPT-алгоритмів, вибір параметрів акумуляторного блока та тепломеханічний дизайн у рамках єдиного енергетичного балансу.

Експериментальна валідація підтвердила узгодженість розрахункових та виміряних характеристик, а також переваги використання високоефективних MPPT-алгоритмів і $LiFePO_4$-акумуляторів у компактних корпусах.

Отримані результати можуть бути використані під час створення комерційних зразків портативних СЕС, модернізації існуючих автономних систем живлення та розробки навчально-лабораторних стендів для підготовки фахівців у галузі фотоенергетики.

УДК 620.9

ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЯК УМОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА СТАЛОЇ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ

***Міхнич В. О.**, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна*

Зима 2025/26 рр. ще раз продемонструвала, що енергетична стійкість України в умовах війни залежить не лише від фізичного відновлення пошкоджених об'єктів, а й від здатності переосмислити саму модель енергопостачання. Досвід останніх зим показав, що надмірно централізована архітектура системи, успадкована ще з радянських часів, є структурно вразливою до повторюваних атак і створює високі ризики для безперервності електро- та теплопостачання. У цьому сенсі війна виявила не лише масштаби руйнувань, а й глибші обмеження централізованої моделі, яка дедалі гірше відповідає завданням стійкого відновлення, модернізації та майбутньої трансформації енергетики України.

Метою цієї роботи є обґрунтувати, що децентралізація електро- та теплопостачання в Україні має розглядатися не як вузькотехнічний захід або факультативний елемент зеленого переходу, а як одна з базових умов енергетичної стійкості, міського функціонування та якісної післявоєнної відбудови. Робота ґрунтується на аналізі еволюції атак на енергетичну інфраструктуру України у 2022–2026 рр., оцінках доступної генерації та мережевих обмежень, а також сучасних підходах до модернізації систем електро- та теплопостачання.

Еволюція російських атак особливо чітко виявила цю проблему. Якщо під час опалювального сезону 2022/23 основними цілями були переважно високовольтні підстанції та магістральна мережева інфраструктура, то в наступні періоди фокус змістився на теплову та гідрогенерацію, а під час опалювального сезону 2025/26 — також на газову інфраструктуру, теплоелектроцентралі та підстанції операторів систем розподілу [1]. Таким чином, під ударом опинилися вже не окремі елементи системи, а практично весь централізований ланцюг енергопостачання — від генерації та передачі до розподілу, теплопостачання та критичних міських сервісів.

Наслідки цієї еволюції атак були системними. Внаслідок хвиль атак 2024 року було втрачено або тяжко пошкоджено до 90% потужностей теплової генерації та близько третини гідрогенерації – саме тих сегментів, які є критично важливими для маневрування, балансування та стабілізації частоти і напруги в мережі [2]. Ці атаки продовжилися з посиленою інтенсивністю впродовж зимового періоду 2025/2026 років. У результаті Україна дедалі більше змушена покладатися на імпорт електроенергії та альтернативні механізми утримання системи, зокрема аварійні ремонти та обмеження споживання шляхом планових і екстрених відключень побутових та непобутових споживачів [3]. В окремі періоди зими доступна конвенційна генерація знижувалася приблизно до 11 ГВт при зимовому піковому

навантаженні близько 17,5-18 ГВт, що свідчило про суттєвий дефіцит між доступною генерацією та потребами системи [4].

Однак ця вразливість закладена не лише в пошкодженні великих генеруючих потужностей, а й у самій логіці централізованої системи, де передача енергії значною мірою залежить від обмеженої кількості великих вузлів і недостатньо гнучкої мережевої конфігурації. Саме тому навіть зростання ролі імпорту не усуває системної проблеми: зовнішній ресурс може бути доступним, але внутрішні мережеві обмеження, вузькі місця та пошкодження інфраструктури не завжди дозволяють доставити його туди, де він найбільше потрібен [5]. Зокрема, це знаходить свій прояв у суттєво обмеженій здатності передавати електроенергію із західних регіонів до східних та прифронтових зон споживання.

Особливо показовою стала ситуація у великих містах, де електропостачання, теплопостачання і водопостачання є особливо взаємопов'язаними. Значна частина міських систем історично будувалася навколо великих ТЕЦ, ТЕС і централізованих котелень, а отже пошкодження таких об'єктів створює ризик не лише дефіциту електроенергії, а й масштабних збоїв у теплопостачанні [6]. Для українських умов це принципово важливо, оскільки тепло не може розглядатися ізольовано від електроенергії: без живлення насосів, циркуляції теплоносія та роботи супутнього обладнання система теплопостачання фізично не може функціонувати. Показовим прикладом став Київ, де після атак в січні та лютому 2026 року без тепла залишалися тисячі багатоповерхових будинків без можливості швидкого відновлення [7].

Звідси випливає, що для України питання децентралізації не може обмежуватися лише сектором електроенергії. В умовах війни вона позначає спроможність гарантувати електроенергію, тепло- та водопостачання навіть у випадках, коли великі централізовані об'єкти стають об'єктами систематичних атак.

Разом з тим, специфіка українського контексту зумовлює необхідність тверезого підходу: децентралізація не може бути реалізована миттєво і не зводиться виключно до інсталяції сонячних панелей на відокремлених об'єктах. Це передбачає не одномоментну відмову від централізованої системи, а поступову трансформацію до збалансованої моделі, що інтегрує великі об'єкти з розподіленими рішеннями різноманітних технологій. Для великих міст, зокрема для Києва, повна заміна великих ТЕЦ у короткі терміни є технічно нереалістичною через масштаб мереж, складність під'єднання до газу та обмежені строки реалізації. Тому реалістична стратегія полягає в поєднанні відновлення того, що можливо, з паралельним створенням децентралізованого резерву навколо критичних вузлів.

У цьому сенсі децентралізацію в Україні доцільно розглядати як багатошаровий системний пакет. Короткострокова безпекова складова цього пакета асоціюється із забезпеченням функціонування системи впродовж найближчих опалювальних періодів без суттєвого колапсу. Пріоритетне значення мають:

швидке відновлення пошкоджених потужностей, ефективніше використання імпортних можливостей та їх збільшення, розподілена газова та когенераційна генерація, батарейні системи для резервування критичної інфраструктури, а також заходи з управління попитом. За офіційними даними Міненерго, станом на початок лютого 2026 року в Україні було введено в експлуатацію 1,4 ГВт газової розподіленої генерації, з яких 1,1 ГВт приєднано до мереж [8]. Це свідчить про те, що децентралізація вже стала частиною практичної відповіді на кризу, хоча її масштаби поки що залишаються недостатніми.

Середньостроковий, трансформаційний шар полягає в тому, що відновлення не повинно відтворювати довоєнну архітектуру системи. У цьому контексті ключовими аспектами постають: розподілена сонячна генерація, системи зберігання енергії, розвиток вітрових проєктів там, де це технічно та безпеково можливо, теплові насоси, концепція «об'єднання секторів» (sector coupling) та модернізація міських теплових систем. IEA оцінює, що для формування більш децентралізованої та стійкої системи Україні потрібно додавати близько 4 ГВт розподіленої PV щороку до 2030 року та ще 5.6 ГВт нових BESS до того ж часу [9]. Отже, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) можуть відігравати дедалі значнішу роль у трансформації української енергетики; проте у короткостроковій перспективі вони неспроможні самостійно забезпечити балансування та надійність під час пікового споживання. Через втрати маневрових потужностей, пошкодження мереж та високий рівень воєнної невизначеності Україні ще певний час будуть потрібні і гнучкі газові потужності, зокрема у форматі малої розподіленої генерації й когенерації. У той же час, децентралізація має включати не лише нові потужності, а й зменшення пікового попиту через енергоефективність будівель, локальне резервування та інструменти управління попитом. У цьому контексті, правильні тарифні сигнали можуть зменшувати потребу в новій тепловій/газовій потужності [3].

Важливо зазначити, що функціонування цього пакета є неможливим без адекватного розвитку мережевого рівня, зокрема без участі операторів систем розподілу (ОСР). Саме на цьому рівні накопичуються критичні обмеження для масового підключення нових розподілених об’єктів, у тому числі ВДЕ [10]. Отже, децентралізація, позбавлена модернізації ОСР, може ризикувати залишитися лише набором локальних рішень без досягнення системного ефекту [11].

Таким чином, для України децентралізація енергетики має розглядатися не як окремий технічний захід, а як багаторівнева стратегія, котра поєднує безпекові, відновлювальні та низьковуглецеві цілі. У короткостроковій перспективі, першочерговим завданням є забезпечення резервування критичних ланцюгів електропостачання, теплопостачання та водопостачання, а також підтримання базового функціонування системи в умовах атак. Натомість, у середньо- та довгостроковій перспективі, фокусом є формування нової архітектури енергопостачання, що характеризується підвищеною гнучкістю, стійкістю та

сумісністю із принципами зеленого переходу. Відновлення старої високовуглецевої та централізованої моделі означало б **відтворення структурної вразливості,** тоді як модернізація через розподілену генерацію, ВДЕ, системи зберігання енергії та об'єднання секторів дозволила б поєднати стійкість із декарбонізацією. Отже, у цьому контексті проявляється не лише безпекова, а й екологічна цінність децентралізації для України.

Література

1. Carr, R. D., Kalynych, T., Meissner, F., Mikhnych, V., Stubbe, R., Zachmann, G. *Electricity and gas supply in Ukraine: Winter 2025/26. Update January 2026*. Green Deal Ukraïna, 2026.
2. President of Ukraine. Speech by Volodymyr Zelenskyy at the Ukraine Recovery Conference 2024. 11 June 2024.
3. Carr R., Mikhnych V., Uebele M., Zachmann G. Managing load shedding in Ukraine: rationing rules, imports and demand response. November 2025.
4. Green Deal Ukraina (2026). State of the Ukrainian Energy System Dashboard. Produced by Robert Carr; Dr. Frank Meissner. Contribution from Rouven Stubbe; Vladyslav Mikhnych. Available at: https://greendealukraina.org/gd-tracker/state-of-the-ukrainian-energy-system
5. International Energy Agency. *Ukraine's Energy Security: A pre-winter assessment*. 2025.
6. Usenko Y., Savytskyi O., Mikhnych V. Status of municipal heat supply in Ukraine: challenges and solutions from the bottom up. May 2025.
7. Kyiv City State Administration. *Віталій Кличко: Після масованої нічної атаки ще майже 2600 столичних будинків опинилися без тепла*. 12.02.2026.
8. Міністерство енергетики України. 1,4 ГВт газової генерації введено в експлуатацію в Україні від початку повномасштабного вторгнення. 10.02.2026.
9. International Energy Agency. Policy options to accelerate distributed solar PV in Ukraine. Paris: IEA, 2025.
10. Bondarenko O., Mikhnych V., Zachmann G. Distribution system operators in Ukraine: gatekeepers of a decentralised energy system. October 2025.
11. European Commission. *Ukraine Report 2025* (Enlargement Package), section on energy.

УДК 502.15:[341.123:502.51]:639.2/.3(477)

УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДХОДІВ У КОНТЕКСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛІ 12 СТАЛОГО РОЗВИТКУ

***Крайнюков О. М.**, д-р геогр. наук, професор, **Проненко М. О.**, аспірант*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
м. Харків, Україна

Сучасні виклики у сфері управління відходами обумовлені зростанням обсягів виробництва, ускладненням складу відходів та підвищенням їх потенційної небезпеки для довкілля і здоров’я людини. Відповідно до стратегічних пріоритетів Організація Об'єднаних Націй, зокрема Цілі сталого розвитку№12 (ЦСР12), важливим завданням є забезпечення раціональних моделей споживання і виробництва, що передбачає ефективне управління відходами та мінімізацію їх негативного впливу [1]. Україна активно імплементує принципи ЦСР12: Стале споживання та виробництво у національну стратегію розвитку, що є невід’ємною частиною її європейського курсу та зобов’язань у межах Угоди про асоціацію з ЄС. Зокрема, державна політика фокусується на трансформації лінійної моделі економіки в циркулярну, запровадженні інноваційних методів управління відходами та стимулюванні екологічно відповідальних державних закупівель. Особлива увага приділяється гармонізації вітчизняного законодавства з директивами ЄС, що передбачає мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище через впровадження моніторингу життєвого циклу продукції та підтримку ресурсоефективних технологій у промисловому секторі. За для цього був підписан указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019 про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року[2]. Оцінка небезпечних властивостей відходів є ключовим елементом системи екологічного регулювання, оскільки саме вона визначає подальші способи поводження з ними, включаючи утилізацію, знешкодження, захоронення або повторне використання.

Небезпечні властивості відходів включають токсичність, канцерогенність, вибухонебезпечність, екотоксичність та інші характеристики, що можуть становити загрозу довкіллю. Їх визначення базується на комплексному аналізі фізико-хімічних показників, складу та потенційної поведінки відходів у навколишньому середовищі. Традиційні методики часто мають обмеження, пов’язані з недостатньою точністю, високою вартістю лабораторних досліджень або відсутністю уніфікованих підходів.

Аналіз існуючих методик оцінки дозволяє констатувати низку системних недоліків, що стримують їх ефективне застосування. Насамперед це виявляється у фрагментарності чинної нормативної бази та її недостатній гармонізації з міжнародними стандартами, що створює бар'єри для уніфікації оціночних процедур. Крім того, критичною проблемою є обмежене впровадження ризик-орієнтованих підходів і сучасних аналітичних технологій на фоні низького рівня

цифровізації процесів збору та обробки даних. Сукупність зазначених чинників суттєво ускладнює практичну реалізацію принципів 12-ї Цілі сталого розвитку, зокрема в контексті забезпечення екологічно безпечного поводження з відходами та мінімізації обсягів їх утворення.

Першочерговим завданням модернізації системи оцінки є гармонізація національних методик із міжнародними системами класифікації, зокрема європейськими підходами, що забезпечить верифікацію даних та сприятиме ефективному транскордонному співробітництву. У межах цього процесу особливого значення набуває впровадження ризик-орієнтованого підходу, згідно з яким оцінка має враховувати не лише хімічний склад відходів, а й потенційні сценарії їхнього антропогенного впливу на екосистеми. Це зумовлює необхідність переходу від ретроспективних методів сумування концентрацій небезпечних речовин до використання методу біотестування шляхом проведення експериментальних досліджень на токсичність відповідно до регламенту 440/2008/CE.[3]

Паралельно з цим, стратегічний розвиток галузі передбачає масштабну цифровізацію та формування єдиних інформаційних систем, що дозволить підвищити прозорість управління, забезпечити оперативний доступ до аналітичних масивів і налагодити моніторинг потоків відходів у режимі реального часу. Кінцевою метою такої трансформації є повна інтеграція вдосконалених методик у державну екологічну політику, що слугуватиме дієвим інструментом для практичної реалізації стратегій сталого розвитку та досягнення показників 12-ї Цілі (ЦСР 12).

Модернізація методологічного інструментарію оцінки небезпечних властивостей відходів виступає детермінантою для системного скорочення обсягів їх утворення та інтенсифікації процесів рециклінгу. Оптимізація цих підходів сприяє мінімізації антропогенного тиску на навколишнє природне середовище, створюючи необхідні умови для розбудови моделі циркулярної економіки та стимулювання екологічної відповідальності суб'єктів господарювання. Зазначений вектор трансформації повністю корелює з фундаментальними завданнями 12-ї Цілі сталого розвитку, зокрема в частині забезпечення екологічно безпечного менеджменту хімічних речовин та відходів на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Удосконалення оцінки небезпечних властивостей відходів є необхідною умовою ефективного управління відходами та досягнення Цілі 12 сталого розвитку. Основними напрямами вдосконалення є удосконалення вітчизняних методик оцінки небеспечних властивостей відходів та гармонізація з європейським законодавством, впровадження ризик-орієнтованих підходів, використання сучасних технологій та цифровізація процесів.

Реалізація цих заходів дозволить підвищити рівень екологічної безпеки, забезпечити раціональне використання ресурсів і сприятиме переходу до сталих моделей виробництва і споживання.

Література

1. United Nations Environment Programme. Global Waste Management Outlook. Nairobi, 2015. 346 p. URL: https://www.unep.org

2. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text

3. Регламент Ради (ЄС) N 440/2008 "Що встановлює методи тестування відповідно до Регламенту Європейського Парламенту та Ради (ЄС) N 1907/2006 про реєстрацію, оцінку, авторизацію і обмеження хімічних речовин та препаратів (REACH)" від 30 травня 2008 року. ВЕРХОВНА РАДА УКРАЇНИ: Законодавство України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_a14#Text.

УДК 629.33:621.35:628.4.043

АНАЛІЗ СВІТОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ ПОВОДЖЕННЯ ІЗ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

***Тихенко О.М.**, д.т.н., проф., **Коновалов А.О.**, здобувач PhD,*
Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ, Україна

Досліджено основи правового регулювання у сфері поводження з відпрацьованими літій-іонними акумуляторами електротранспорту. Проаналізовано ключові законодавчі акти ЄС, Китаю та США. Особливу увагу приділено концепції розширеної відповідальності виробника та впровадженню цифрових паспортів батарей електромобілів як інструменту контролю життєвого циклу.

Ключові слова: нормативно-правове забезпечення, Регламент ЄС 2023/1542, розширена відповідальність виробника, паспорт батареї, циркулярна економіка.

Досить стрімка трансформація транспортного сектору та масовий перехід на електромобілі створив правовий вакуум у сфері управління специфічними відходами в Україні. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю аналізу міжнародного досвіду для формування українського правового поля в умовах євроінтеграції при поводженні із відпрацьованими джерелами живлення електротранспорту.

Традиційне законодавство, що регулює поводження з побутовими елементами живлення та малогабаритними акумуляторами, виявилося структурно та технічно неадаптованим до викликів електротранспорту [1]. Тягова батарея – це складний інженерний об’єкт вагою від 300 до 700 кг, що потребує спеціальних протоколів безпеки під час демонтажу, зберігання та транспортування, на відміну від дрібних елементів живлення. З одного боку, літій-іонні акумулятори містять високоліквідні метали (літій, кобальт, нікель, марганець, мідь), що робить їх стратегічним ресурсом для «циркулярної економіки». З іншого боку – наявність токсичних електролітів та ризики самозаймання класифікують їх як небезпечні відходи, що вимагають жорсткого екологічного нагляду. Відсутність уніфікованих міжнародних стандартів призвела до того, що значна частина відпрацьованих батарей опиняється у «сірій зоні» перепродажу або неналежної утилізації. Це не лише спричиняє екологічні ризики, а й веде до безповоротної втрати критичної сировини, що посилює залежність виробників від первинного видобутку ресурсів.

Для України питання розробки ефективного нормативно-правового забезпечення набуває критичного значення, у зв’язку із зобов’язаннями перед ЄС та тенденціями формування внутрішнього ринку. У межах адаптації національного законодавства до європейських стандартів (зокрема, імплементації нового Регламенту ЄС 2023/1542), Україна має впровадити механізми розширеної відповідальності виробника та цифрову систему відстеження. Стрімке зростання імпорту вживаних електромобілів в Україну створює відкладену екологічну загрозу. Без належного правового поля, яке б регулювало діяльність центрів рециклінгу та сервісів «другого життя» батарей, держава ризикує

перетворитися на звалище відпрацьованих джерел живлення. Аналіз світових регуляторних тенденцій є необхідним підґрунтям для створення в Україні прозорої, інвестиційно привабливої та екологічно безпечної моделі управління життєвим циклом відпрацьованих елементів живлення електротранспорту.

Сьогодні утилізація елементів живлення перестала бути виключно питанням екології, це боротьба за ресурси. Різні регіони світу виробили власні правові механізми, щоб перетворити відходи на стратегічну сировину. На сьогодні у світі існує три домінуючі моделі управління життєвим циклом відпрацьованих елементів живлення електротранспорту (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика нормативно-правового регулювання поводження з відпрацьованими елементами живлення електротранспорту

Регіон	Основний нормативний акт	Основний механізм	Вимоги до рециклінгу
ЄС	Регламент 2023/1542	Паспорт батареї та цифровізація	Вилучення Li – 50% (2027), 80% (2031)
Китай	«Тимчасові заходи» (МІІТ)	Платформа управління відстежуваністю	Відповідальність автовиробників за збір
США	Закон про зниження інфляції (IRA)	Податкові пільги та стимулювання	Локалізація переробки (мін. 40 % сировини)

Головною тенденцією ЄС став перехід від Директив, які країни-члени могли інтерпретувати по-своєму, до Регламентів прямої дії. Ключовим документом став Регламент ЄС 2023/1542 [2]. Головна інновація – впровадження обов’язкового «мінімального вмісту вторинної сировини». Європа більше не сподівається на сумлінність виробників, вона створює для них законні рамки. Як результат, планується, що до 2031 року кожна нова батарея на ринку ЄС повинна містити щонайменше 16 % переробленого кобальту та 6 % літію. Це гарантує стабільний попит на послуги рециклінгових заводів. Сировина, вилучена зі старих укумуляторних батарей, буде викуплена виробниками нових.

Китай, будучи лідером ринку електромобілів, обрав шлях тотальної простежуваності. Тут законодавство базується на жорсткому цифровому обліку кожного елемента живлення [3]. Кожен акумуляторний модуль має свій унікальний ID, який реєструється в єдиній державній системі моніторингу від моменту виходу з конвеєра до моменту утилізації. Завдяки цифровізації Китаю вдалося розгорнути мережу з понад 10 000 офіційних пунктів збору. Аналіз ринку показує, що без цифрового ID втрати цінної сировини при нелегальному розборі акумуляторних батарей та перепродажу, сягають 40 %. Держава фактично відслідковує кожну батарейку в режимі реального часу.

Американське законодавство, зокрема Закон про зниження інфляції, підходить до проблеми не через заборони, а через потужні економічні стимули. Замість того, щоб карати за невиконання норм збору, США пропонують величезні субсидії та податкові кредити (до 7,500 $ на один електромобіль) за умови виконання «правила походження»

[4]. Критичні мінерали для батарей мають бути або видобуті, або перероблені безпосередньо в США чи в країнах-партнерах, з якими укладено угоди про вільну торгівлю. Це стимулює створення замкненого циклу виробництва всередині країни. Закон робить утилізацію відпрацьованих елементів живлення на території Штатів економічно вигіднішою за імпорт нової сировини.

Проведений аналіз свідчить, що українське законодавство, зокрема Закон України «Про управління відходами» потребує імплементації специфічних норм щодо відпрацьованих елементів живлення. Необхідно юридично розмежувати поняття «відходів» та «вживаних виробів», щоб дозволити легальне використання батарей у стаціонарних системах зберігання енергії. Крім того, відповідно до Постанови КМУ №102 від 29 січня 2026 року в Україні спрощений імпорт літій-іонних акумуляторів (виключивши їх із переліку товарів, що підлягають обов'язковому ліцензуванню), що важливо для ринку накопичувачів енергії, але водночас посилює вимоги до їх подальшого обліку як потенційно небезпечних відходів у майбутньому.

Отже, світова тенденція нормативного регулювання зміщується від простої утилізації до управління ресурсами. Основними інструментами стають цифрові паспорти батарей (забезпечення прозорості ланцюга постачання), квотування вторинної сировини (примусове створення ринку збуту) та стандартизація процедур для полегшення автоматизованого розбирання. Реалізація цих норм дозволить перетворити екологічну проблему на стратегічний ресурсний резерв держави.

Література

1. Закон України «Про управління відходами» від 20 черв. 2022 р. № 2320-IX (зі змінами, внесеними згідно із Законом № 4718-IX від 16.12.2025). *Верховна Рада України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text

2. Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council on batteries and waste batteries. URL: https://unece.org/sites/default/files/2024-10/4_EU_Rev.1.pdf

3. China Ministry of Industry and Information Technology (MIIT) – Battery Traceability Standards. URL: https://english.www.gov.cn/news/202601/16/content_WS6969df0cc6d00ca5f9a-089c0.html

4. US Inflation Reduction Act (2022)/ URL: https://www.irs.gov/inflation-reduction-act-of-2022

УДК 606:628.4:504

ІННОВАЦІЙНА ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЯ КОМПОСТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Пасенко А. В.**, кандидат технічних наук, **Гахова О. І.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
м. Кременчук, Україна

На сьогодні важливим екологічним питанням, яке потребує вирішення, є переробка значної кількості твердих побутових відходів (ТПВ). Існує проблема забруднення компонентів природних екосистем внаслідок зберігання, захоронення ТПВ на полігонах. Проте ТПВ за хімічним складом є потенційно цінною сировиною для утилізації шляхом аеробної або анаеробної біодеструкції з отриманням певної продукції, що затребувана на ринку. За умов ретельного роздільного збору ТПВ важливим шляхом переробки відходів є процес їх компостування, недоліком якого є відносно довгий термін перебігу аеробного окиснення складових відходів на гуміфікований продукт, який застосовують як добриво. Процес біоокиснення органічної частини ТПВ до утворення компосту відбувається за участю мікробіоценозу природного складу, тому він уповільнений в межах біохімічних можливостей клітин мікроорганізмів. Тому перспективною є розробка та впровадження інноваційних екологічних біотехнологій, в основу яких покладено використання екологічно безпечних мікробіологічних біопрепаратів, біологічно активних речовин відходів для інтенсифікації процесу компостування ТПВ.

З метою забезпечення еколого-економічної доцільності реалізації технології компостування ТПВ у роботі запропоновано використання біопрепарату «Радород», що містить біохімічно активні мікроорганізми-біодеструктори з потужним ферментним комплексом, які позитивно впливають на біодеструкцію органічних сполук ТПВ. Застосування біопрепарату «Радород» прискорює процес розкладання відходів, забезпечує оптимальні показники зольності, вологості, кислотності, ступінь мінералізації готового компосту. Для посилення дії аеробних біоагентів компостування запропоновано застосування кількох біоактиваторів процесу одночасно. Для інтенсифікації біодеструкції ТПВ доцільним є сумісне використання препарату «Радород» з біоагентами у складі відходів молокопереробної промисловості та дріжджового виробництва, що додатково збагатить субстрат поживними речовинами та стимулюватиме мікробіологічні процеси.

За результатами лабораторного дослідження компостування органічної складової ТПВ протягом 30 діб з використанням біопрепарату «Радород», молочної сироватки та дріжджів встановлено, що найбільш дозрілим та мінералізованим компостом за показниками pH, зольності, вологості, вмісту нітратів є проба із сумішшю біоагентів «Радород»+дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*. Подальші дослідження будуть спрямовані на масштабування технології та оцінку ефективності застосування компосту на різних ґрунтах.

УДК 669:504:330.34

«ЗЕЛЕНА» МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ: КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ ТА ПРОГНОЗИ РОЗВИТКУ

***Воденнікова О.С.**, к.т.н., доцент,*
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна

Сучасний розвиток світової металургійної промисловості відбувається в умовах посилення глобальних екологічних викликів, пов'язаних із необхідністю зниження викидів парникових газів та переходу до сталих моделей виробництва. Металургія як одна з базових галузей промисловості відіграє визначальну роль у забезпеченні економічного зростання, водночас залишаючись одним із найбільших джерел антропогенного навантаження на довкілля. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання екологізації металургійного виробництва та впровадження концепції «зеленої» металургії [1–3].

Для України проблема модернізації металургійної галузі є особливо актуальною, що зумовлено високим рівнем зношеності виробничих потужностей, значною енергоємністю технологічних процесів та необхідністю адаптації до вимог європейського ринку. Післявоєнне відновлення економіки створює передумови для структурної перебудови галузі на основі інноваційних, ресурсоефективних та екологічно безпечних технологій.

Метою дослідження є аналіз сучасного стану екологізації металургійної галузі, визначення ключових проблем її розвитку, а також обґрунтування перспектив і прогнозів «зеленої» модернізації в умовах глобальних трансформацій.

Однією з ключових проблем сучасного розвитку світової металургійної промисловості є її значний внесок у формування глобальних викидів діоксиду вуглецю (CO_2), що зумовлює необхідність переходу до низьковуглецевих технологій виробництва [4, 5]. Водночас металургійні підприємства України характеризуються зношеністю основних фондів, обмеженим доступом до «зелених» інвестицій та недостатнім рівнем впровадження сучасних управлінських підходів, зокрема цифрової трансформації та екологічно орієнтованої корпоративної культури. Це обумовлює необхідність їх комплексної модернізації із залученням передових європейських «зелених» технологій.

Ключовим напрямом розвитку металургійної галузі є екологічна модернізація підприємств, що передбачає застосування інноваційних технологічних рішень. Зокрема, це використання електродугових печей, розширення переробки металобрухту, впровадження ефективних систем очищення викидів, а також перехід до замкнених виробничих циклів відповідно до принципів циркулярної економіки [6, 7].

Перспективи розвитку «зеленої» металургії пов'язані зі зниженням вуглецевої інтенсивності виробництва, підвищенням енергоефективності, переходом на відновлювані джерела енергії та розширенням вторинної переробки сировини [8, 9].

Прогнози свідчать про поступовий, але незворотний перехід галузі до низьковуглецевих технологій: у короткостроковій перспективі (до 2030 р.) очікується обмежене поширення «зеленої» сталі (близько 2 % світового виробництва), що пояснюється високою вартістю інноваційних рішень та значними інвестиційними потребами [5].

У післявоєнний період відновлення металургійної галузі України має здійснюватися на засадах екологічної модернізації з урахуванням сучасних міжнародних стандартів, зокрема ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT)», а також екологічних вимог Європейського Союзу. Важливого значення набуває гармонізація національної нормативно-правової бази з міжнародними стандартами (ДСТУ ISO 14004:2016 «Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження (ISO 14004:2016, IDT)», ДСТУ ISO 14064-1:2024 «Парникові гази. Частина 1. Вимоги та настанови щодо кількісного визначення і звітності про викиди та видалення парникових газів на рівні організації (ISO 14064-1:2018, IDT)», ДСТУ ISO 14064-2:2024 «Парникові гази. Частина 2. Вимоги та настанови щодо кількісного визначення, моніторингу та звітності скорочення викидів або збільшення видалення парникових газів на рівні проєкту (ISO 14064-2:2019, IDT)», ДСТУ ISO 14044:2013 «Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови (ISO 14044:2006, IDT)» та ін.), а також впровадження систем екологічного менеджменту, енергоаудиту та декарбонізації виробництва.

Одним із пріоритетних напрямів трансформації галузі є впровадження низьковуглецевих технологій, зокрема використання водню як альтернативного відновника, розвиток технологій прямого відновлення заліза (DRI), а також поступова відмова від доменних процесів. Значну роль відіграє цифровізація виробництва, що сприяє оптимізації використання ресурсів і зниженню негативного впливу на довкілля [10].

Крім того, необхідним є формування ефективних механізмів державної підтримки «зеленої» модернізації, зокрема стимулювання інвестицій, розвиток державно-приватного партнерства, удосконалення системи екологічного оподаткування та участь у міжнародних кліматичних ініціативах. Важливим чинником є також адаптація підприємств до вимог європейського ринку, зокрема механізму вуглецевого коригування імпорту (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM), який передбачає запровадження плати за вуглецеву інтенсивність продукції.

Таким чином, у результаті дослідження сформульовано такі висновки:

1. Встановлено, що металургійна галузь характеризується високим рівнем вуглецевої інтенсивності, що зумовлює необхідність її комплексної екологічної модернізації. Основними проблемами розвитку галузі є зношеність виробничих фондів, висока енергоємність, обмежений доступ до інвестицій та недостатній рівень впровадження інноваційних технологій.

2. Доведено, що пріоритетним напрямом трансформації є впровадження «зелених» технологій, розвиток водневої металургії, використання вторинної сировини та цифровізація виробництва. Перспективи розвитку галузі пов’язані з переходом до низьковуглецевої моделі, що забезпечить зниження екологічного навантаження та підвищення конкурентоспроможності продукції.

3. Показано, що екологічна модернізація металургійної галузі України є стратегічно важливим напрямом її розвитку, що сприятиме інтеграції до європейського економічного простору та формуванню інноваційної, ресурсоефективної та екологічно орієнтованої моделі функціонування у довгостроковій перспективі.

Література

1. Кучеренко М. А., Піщенко К. А., Воденнікова О. С. «Зелена» металургія: проблеми, перспективи та прогнози. Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки: І Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти (Запоріжжя, 16–18 жовтня 2024). Запоріжжя: ЗНУ, 2024. С. 482–485.
2. Кучеренко М. А., Піщенко К. А., Воденнікова О. С. «Зелена» металургія: перспективи та проблеми. Наука і сталий розвиток транспорту 2024: збірник тез доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених (Дніпро, 27 листопада 2024). Дніпро: УДУНТ, 2024. Т. 3. С. 125–126.
3. Vodennikova O. S., Pishchenko K. A. “Green” metallurgy: problems, prospects and forecasts. MiningMetallTech 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education: Conference proceedings (Riga, November 28–29, 2024). Riga: Baltija Publishing, 2024. Vol. 1. P. 27–30.
4. Iron and Steel Technology Roadmap: Towards More Sustainable Steelmaking. Paris: International Energy Agency, 2020. 120 p.
5. Sustainable Steel – Indicators 2023 and Industry Initiatives. Brussels: World Steel Association, 2023. 45 p.
6. Decarbonizing the Steel Industry: Policy and Technology Options. Washington, DC: World Bank, 2021. 80 p.
7. Global Steel at a Crossroads: Why the Global Steel Sector Needs to Invest in Climate-Neutral Technologies in the 2020s. Berlin: Agora Industry, Wuppertal Institute, 2021. 60 p.
8. Hydrogen for Net-Zero Steel. Brussels: Hydrogen Council, 2022. 35 p.
9. Decarbonization of Steel: How to Achieve Net-Zero CO_2 Emissions. McKinsey & Company, 2020. 55 p.
10. Carbon Border Adjustment Mechanism. Brussels: European Commission, 2021. 18 p.

УДК 504.03:669.295.054

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТИТАНОВОЇ СТРУЖКИ

***Нестеренко Т.М.**, к.т.н., Запорізький національний університет,*
м. Запоріжжя, Україна

Вступ. Титан і титанові сплави є основою для виробництва високотехнологічного обладнання та нових видів зброї. З одного боку, розвиток титанового виробництва тісно пов'язаний з науково-технічним прогресом. З іншого боку, широке використання титанових виробів сприяє прогресу техніки, економіки, зростанню добробуту та стабільності соціального суспільства як наслідок.

Ключовою вимогою сталого розвитку титанової промисловості є раціональне використання існуючих та накопичених ресурсів.

Дослідження питань екологічної переробки титанових відходів в Україні є одним із важливих завдань серед низки питань сталого розвитку українського суспільства.

Огляд літератури. Розширення сфери застосування титанових порошків у цивільних галузях можна досягти зниженням витрат на їх отримання. Використання титанової стружки, що утворюється в значних обсягах у машинобудуванні, як сировини для виробництва порошків в промисловому масштабі дозволяє вирішити поставлену задачу. Для отримання якісних титанових порошків у широкому діапазоні гранулометричного складу необхідно заздалегідь очистити стружку від механічного забруднення, залишків змащувальних і охолоджуючих рідин (ЗОР) і поверхневої оксидної плівки.

Механічний спосіб очищення поверхні стружки від залишків ЗОР, заснований на видаленні мастила і емульсій за допомогою відцентрових сил, не забезпечує без додаткового сушіння іншими способами можливість використання титанової стружки в металургійному виробництві. Вакуумне знежирення економічно виправдане для глибокого очищення титанової стружки при її підшихтуванні для виплавки злитків титану та його сплавів. Гідрохімічний (реагентний) спосіб, що полягає у відмиванні мастила з поверхні стружки миючими розчинами, для титанової стружки вивчено Джонсом М. М., Скрипнюк С. О., Шаповаловою О. М., Богочаровим М. О., Раскіною Р. Д. та ін. достатньо повно, вдосконалення способу продовжується.

Узагальнюючи відомі практичні дані та закінчені теоретичні дослідження, розроблено технологію переробки окисленої титанової стружки на порошок, яка складається з очищення стружки від залишків мастила і емульсій у содово-фосфатному розчині та видалення поверхневого окисленого шару травленням у хлоридно-фторидному розчині. При порівняно низьких температурах, невеликій тривалості та глибині травлення досягається достатньо повне видалення небажаних домішок, у стружці не більш %: 0,15 кисень; 0,030 азот; 0,035 вуглець. Очищену від

оксидів та інших поверхневих забруднень титанову стружку шляхом механічного подрібнення переробляють на титановий порошок фракції –0,20+0,063 мм.

Основний текст. Можливість розробки екологічної технології, що виключає викиди у довкілля відпрацьованих технологічних розчинів, зливів нейтралізації і твердих відходів, вивчена в лабораторних умовах під час переробки стружки титанових сплавів, яка зберігалася за різних умов: а) у закритій тарі майже півроку; б) у відкритій тарі до року.

Після трьох циклів циркуляції відпрацьований травильний розчин містить 42−58 г/л вільної соляної кислоти, домішки оксидів і солей металів, що входять до складу титанових сплавів, до г/л: 4,0 титану; 0,4 алюмінію; 0,3 заліза; 0,15 хрому; 0,18 молібдену та ін. Оптимальні умови очищення від суспензій у вигляді оксидних плівок досягнуто фільтрацією через пористий полістирол завтовшки 20 мм (розмір пор до 40 мкм). Продуктивність за фільтратом становить 0,87 м³/(м²·год) при розрідженні 0,05 МПа (рис.1). Ступінь очищення досягає 89,7−92,9 %. Кислі стоки, що утворюються, направляли на першу стадію нейтралізації.

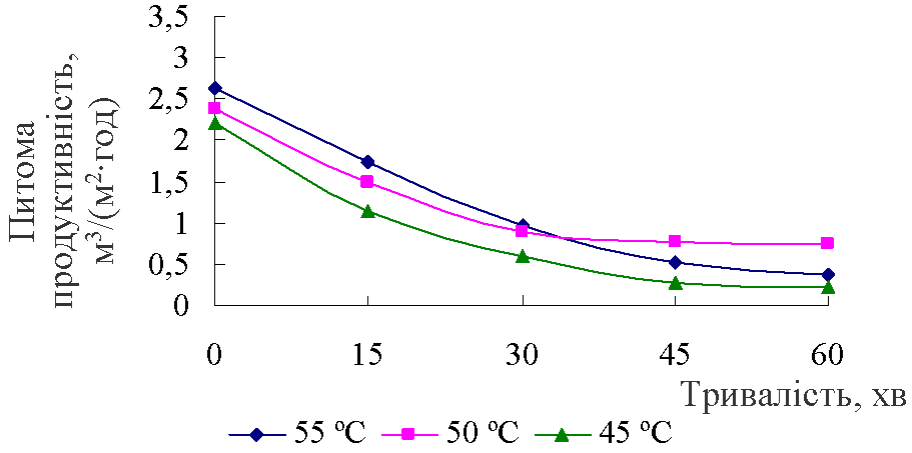


Рис. 1 Залежність питомої продуктивності фільтра від тривалості фільтрування кислих стоків крізь пористий полістирол за різних температур

Для знешкодження та утилізації відпрацьованих розчинів частину кислих стоків після травлення стружки і частину лужних стоків після знежирення виводили з обороту для подальшого їх змішування і взаємної нейтралізації у дві стадії. Очищення лужних стоків від мастила і зважених речовин досягалося додаванням частини відпрацьованого травильного розчину і 0,2−0,5 % розчину поліакриламіду.

Видалення мастила з лужних стоків засновано на наявності у відпрацьованому травильному розчині таких коагулянтів, як йони титану, заліза, алюмінію, що застосовують для очищення стічних вод від нафтопродуктів. Очищення змішаних кислотно-лужних стоків першої стадії нейтралізації можна пояснити коагуляцією часточок, що містяться в стоках. Оптимальні умови очищення від мастила і суспензій на першій стадії нейтралізації досягнуто при співвідношенні лужних і кислих стоків 10:1, додаванні поліакриламіду в кількості

від 0,05 до 0,10 % від маси зважених речовин, pH середовища 9,5−10,5 та фільтруванні крізь пористий полістирол при розрідження 0,05 МПа в інтервалі температур 50−65 ºС (рис.2).

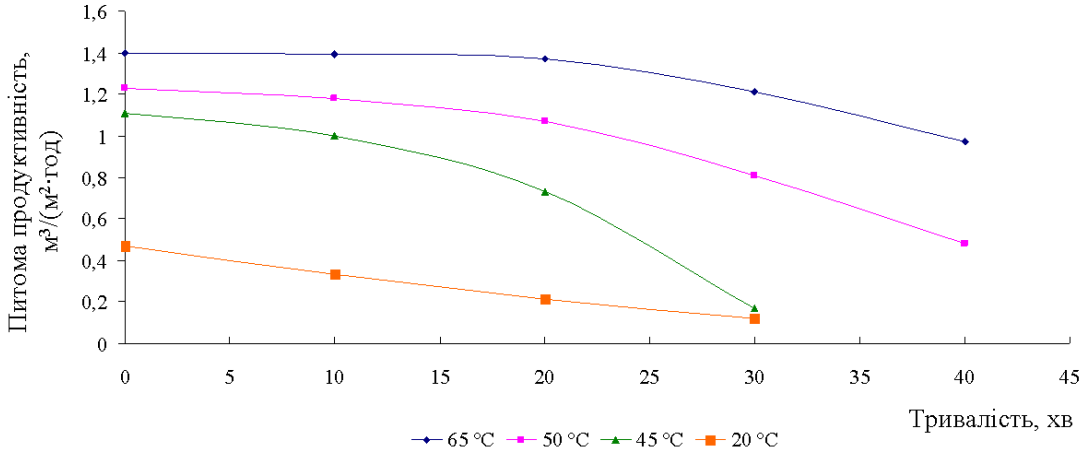


Рис. 2. Залежність питомої продуктивності фільтра від тривалості фільтрування стоків першої стадії нейтралізації за різних температур

Повна нейтралізація очищених від мастила і суспензій лужних стоків досягалася на другій стадії змішуванням їх з кислими стоками. Ефективність другої стадії нейтралізації оцінювалася за величиною pH розчину і складом продукту його випарювання. Оптимальним умовам другої стадії нейтралізації відповідає змішування лужних і кислих стоків у співвідношенні 2:1 та pH розчину 5,6−7,5. Під час випарювання розчинів другої стадії нейтралізації отримано продукт, що містить 19−24 % NaF і 50−56 % NaCl.

Висновки. Проведені дослідження дозволили розробити екологічну дослідно-промислову технологію переробки окисленої титанової стружки на порошок, що забезпечує:

– багаторазове використання травильного розчину з періодичним очищенням від домішок, які накопичуються, а також його регенерацію додаванням реагентів, що спрацьовуються, і технічної води для компенсації її втрат;

– використання відфільтрованого шламу травильних розчинів для виробництва забарвлених титанових пігментів;

– використання відфільтрованого осаду першої стадії нейтралізації у цементному виробництві;

– використання продукту випарювання розчинів другої стадії нейтралізації під час отримання флюсів, що рафінують, для виплавки алюмінієвих сплавів.

УДК 663.1:504.03

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОБІОТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА ДОСВІДУ КРАЇН ЄС ПРИ ФОРМУВАННІ РЕЦЕПТУРИ ВИРОБНИЧОГО ПОЖИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ КУЛЬТИВУВАННЯ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ

***Рудницький В.А.**, студент 3-го курсу; **Корнієнко І.М.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнології; **Кузнєцова О.О.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнології; **Кузь Т.В.**, завідувач лабораторії кафедри біотехнології*
Державне некомерційне підприємство «Національний університет «Київський авіаційний інститут»», Київ, Україна

Актуальність питання. Актуальним та не невирішеним питанням сьогодення можна вважати перехід українських виробників на умови роботи за принципами циркулярної економіки. Циркулярна економіка в контексті екологічності підприємств дозволяє зменшити утворення відходів, підвищити ефективність використання ресурсів і впроваджувати технології повторного використання сировини, що сприяє зниженню негативного впливу на довкілля та сталому розвитку виробництва. Дане питання розглянуто на прикладі стадії ферментації виробничого поживного середовища для культивування молочнокислих бактерій (МКБ), рецептура якого складена з урахуванням принципів циркулярної економіки, а саме, з використанням капустяного відвару як основного компонента, виготовленого на основі неліквідної капусти, яку розглядаємо як відходи сільськогосподарської діяльності задля можливості проведення подальших досліджень, направлених на потреби фармацевтичних підприємств з виробництва пробіотичних препаратів.

Використання сільськогосподарських відходів як компонента поживних середовищ стало стратегією циркулярної економіки для вирішення проблеми значних обсягів відходів. Ці відходи можуть забезпечувати поживні речовини, зокрема органічний вуглець, необхідний для росту мікроорганізмів. Агропромислові побічні продукти переробки фруктів, овочів – цибулі, кімчі, огірків та томатів, капусти досліджувалися щодо їх здатності підвищувати біологічну активність молочнокислих бактерій і сприяти утворенню біоактивних сполук. Незважаючи на наявність деяких досліджень щодо розроблення альтернативних поживних середовищ – особливо лабораторних [1, 2], застосування рослинних відходів для ферментації молочнокислих бактерій, що імітують виробничі процеси (на прикладі ферментеру) – ще не було достатньо вивчені, тому і стали метою даної роботи.

Метою дослідної роботи є розробка оптимальної рецептури виробничого поживного середовища на основі капустяного відвару, виготовленого з неліквідної капусти із додаванням додаткових джерел вуглецю – фруктози та лактулози задля культивування МКБ для потреб фармацевтичної промисловості. Усі дослідження проведено в лабораторних умовах на лабораторному ферментері, час ферментації -72

години. Завдання роботи полягало у визначенні оптимального часу культивування МКБ на експериментальних виробничих поживних середовищах.

Результати роботи. Основними етапами технологічного процесу випробовування доцільності використання поживного середовища, виготовленого з капустяних відходів та додавання субстратів – фруктози та лактулози у кількості 5% є:

1.Підготовка посівної культури.

2. Підготовка та стерилізація поживного середовища на основі капустяного відвару (згідно з принципами циркулярної економіки): за основу була взята капуста білокачанна, також ж до складу поживного середовища було додано: пептон – 10,0 г/л, карбонат кальцію ($CaCO_3$) – 30,0 г/л, глюкоза – 20,0 г/л, вода водопровідна – до 1000 мл. Стерилізація поживного середовища відбувалась в автоклаві за температури 121℃ та тиску 1 атм протягом 20 хвилин.

3. Ферментація з визначенням основних параметрів технологічного процесу. Температура культивування встановлювалась в лабораторному біореакторі в діапазоні 33-37 ^{0}C, який був модифікований власноруч шляхом встановлення терморегуляційного реле. Використовувалась плитка з магнітною мішалкою, яка оберталась зі швидкістю 20 об/хв.

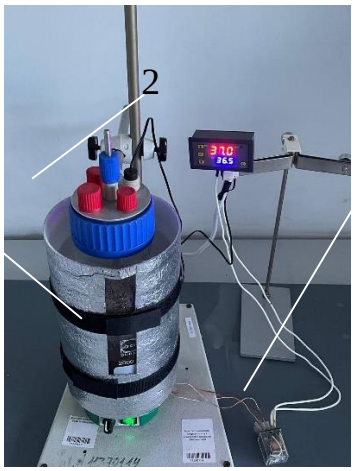


Рис 1. Лабораторний біореактор (ферментер): 1 – реле температури W3230; 2 – штатив; 3 – термопара від реле температури; 4 – лабораторний бутиль компанії SCHOOT Glass на 2000 мл; 5 – нагрівальна плитка з магнітною мішалкою; 6 – реле змінного струму

4.Контроль фізико-хімічних та мікробіологічних показників оцінки якості процесу ферментації (pH, ОВП, титр клітин, біомаса). Для визначення pH та окисно-відновлювального потенціалу використовувся pH-метр з функцією вимірювання ОВП. Титр клітин (за МакФаррланда) вимірювався на денситометрі. Визначення біомаси проводилося шляхом виміру оптичної щільності за допомогою спектрофотометра при довжині хвилі λ = 390 нм.

5. Розробка рекомендацій щодо визначення оптимального часу культивування симбіозу МКБ на виробничому поживному середовищі згідно принципів циркулярної економіки (час культивування на фруктозі 44-48 год, а на лактулозі 44-72 год. відповідно).

На рис. 2 представлено результат вимірювання біомаси фотокалориметричним методом в перерахунку на суху біомасу, який свідчить про успішність процесу культивування МКБ на поживному середовищі, виготовленому на основі капустяного відвару з неліквідної капусти із додаванням фруктози та лактулози.

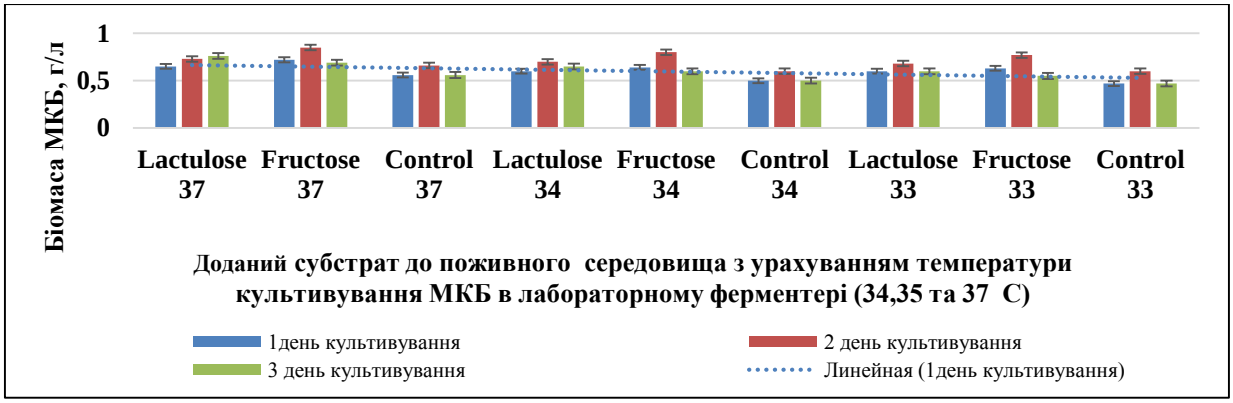


Рис.2. Результат визначення сухої біомаси МКБ за час культивування у лабораторному ферментері при температурах 33,34 та 37 ^{0}C

Враховуючи отримані результати досліджень можна зробити висновок: запропонована рецептура виробничого середовища для культивування молочнокислих бактерій може бути використана в технології виробництва пробіотичних препаратів, враховуючи екологічність та економічність запропонованих підходів. Рекомендовано додавати до складу капустяного відвару фруктозу та лактулозу задля інтенсифікації накопичення біомаси (фруктоза дає збільшений вихід біомаси порівняно із лактулозою).

Дана тематика вивчається в рамках діючого гранту Жана Моне: Waste Management in the Context of Transition to a Circular Economy: the EU Experience (101172378 — CIRCLEMAN — ERASMUS-JMO-2024-HEI-TCH-RSCH)).

Co-funded by the European Union

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені думки та погляди належать лише авторам і не обов'язково передають погляди Європейського Союзу або Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не можуть нести за них відповідальність.

Література

1. Jeong SG, Kim HM, Lee M, Yang JE, Park HW. Use of Vegetable Waste as a Culture Medium Ingredient Improves the Antimicrobial and Immunomodulatory Activities of *Lactiplantibacillus plantarum* WiKim0125 Isolated from Kimchi. J Microbiol Biotechnol. 2023 Jan 28;33(1):75-82. doi: 10.4014/jmb.2210.10049. Epub 2022 Dec 2. PMID: 36517044; PMCID: PMC9895991.

2. Marcelo Fernando Valle-Vargas, Ruth Yolanda Ruiz-Pardo, Luisa Villamil-Díaz & María Ximena Quintanilla-Carvajal.Production of a potential multistrain probiotic in co-culture conditions using agro-industrial by-products-based medium for fish nutrition.Volume 23, article number 54, (2023).

УДК 663.8:664.8:634.51

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННОГО МОЛОКА З ЯДЕР ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА

Балабак О. А., *д. с.-г. н.,* ***Мельник О. Б.,*** *здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, Уманський національний університет, м. Умань, Україна*

Волоський горіх (Juglans regia L.) належить до родини Juglandaceae, представники якої є переважно деревними рослинами, поширеними в умовах помірного та частково тропічного клімату. Це потужне листопадне дерево, що може досягати висоти до 30 м і характеризується значною тривалістю життя — до 300–400 років. Рослина є вітрозапильною, має добре розвинену кореневу систему та міцний стовбур із сірою, тріщинуватою корою. Плід – кістянкоподібний горіх із їстівним ядром, яке вирізняється високою харчовою цінністю завдяки значному вмісту жирів, білків, вуглеводів, а також вітамінів і мінеральних речовин. Деревина волоського горіха відзначається високими механічними та декоративними властивостями, що обумовлює її широке використання у меблевій та деревообробній промисловості [1, 5].

Окрім ядра, важливе господарське значення має шкаралупа горіха. Вона використовується як сировина для виготовлення лінолеуму, абразивних матеріалів, покрівельних покриттів, активованого вугілля, а також у виробництві окремих видів вибухових речовин. У подрібненому вигляді шкаралупа може застосовуватись як органічне добриво, оскільки містить такі макроелементи, як фосфор, калій і кальцій. У насадженнях волоський горіх проявляє виражені фітонцидні та фітомеліоративні властивості, сприяє очищенню повітря від пилу, знижує рівень шуму, а також характеризується високою стійкістю до посухи, надлишкової вологи та низьких температур. Найкраще росте на родючих, добре зволожених ґрунтах із нейтральною реакцією середовища (pH ≈ 7), причому достатнє зволоження кореневої системи є критично важливою умовою для його нормального росту та розвитку [2, 4].

У сучасних умовах особливої актуальності набуває виробництво харчових продуктів рослинного походження, зокрема так званого рослинного молока, яке виступає альтернативою традиційному молоку тваринного походження. Екологічна доцільність виробництва такого продукту зумовлена значно меншим впливом на довкілля. Відомо, що виробництво продуктів харчування загалом формує близько чверті всіх антропогенних викидів парникових газів, при цьому тваринництво є одним із найбільших джерел цих викидів, забезпечуючи відносно невелику частку калорій у раціоні людини. На відміну від цього, виробництво рослинного молока супроводжується приблизно втричі меншими викидами парникових газів у розрахунку на одиницю продукції, а також потребує значно менших площ сільськогосподарських угідь і водних ресурсів. Таким чином, рослинні напої є досить сталим, корисним і екологічно безпечним варіантом харчування [3, 4, 6].

Технологічно рослинне молоко отримують шляхом замочування та подрібнення насіння або плодів різних культур, зокрема горіхів, зернових та бобових. Для покращення органолептичних характеристик виробники часто додають підсолоджувачі, фрукти чи ягоди. Попит на такі продукти постійно зростає, що зумовлено як змінами харчових уподобань населення, так і поширенням веганства та зростанням кількості людей із непереносимістю лактози. Рослинне молоко широко використовується у приготуванні напоїв (кави, чаю), кондитерських виробів та десертів, а також активно впроваджується в асортимент закладів громадського харчування [6].

Разом із тим, існуючі технології виробництва рослинного молока мають певні недоліки. Зокрема, обов'язковим етапом є тривале замочування сировини перед її подрібненням, що подовжує виробничий цикл. Крім того, більшість технологічних схем розроблено переважно для сої, тоді як використання інших видів рослинної сировини, зокрема волоського горіха, потребує додаткових досліджень та адаптації технологічних параметрів з урахуванням їх фізико-хімічних особливостей [4, 6].

Отже, волоський горіх є цінною багатофункціональною сировиною, яка поєднує високі харчові, господарські та екологічні властивості. Використання його ядер для виробництва рослинного молока є перспективним напрямом розвитку харчових технологій, що відповідає сучасним тенденціям сталого виробництва та здорового харчування. Водночас існує необхідність удосконалення технологічних процесів, зокрема скорочення тривалості виробництва та адаптації існуючих методів до специфіки горіхової сировини. Подальші дослідження у цьому напрямі сприятимуть підвищенню якості продукції, розширенню асортименту рослинних напоїв та зменшенню негативного впливу елементів харчової промисловості на довкілля.

Література

1. Кондратенко П. В., Сатіна Г. М., Затоковий Ф. Т., Сатіна Л. Ф. Культура горіха грецького в Україні: стан і перспективи розвитку. Міжв. темат. наук. зб. Садівництво. Київ: Нора-Прінт, 2011. №50. С. 121-126.

2. Наукові основи та складові Галузевої програми розвитку горіхівництва в Україні. Г. М. Сатіна, Ф. Г. Олещенко, Н. М. Кошлакова, І. С. Косенко, А. І. Опалко, О. А. Балабак, Г. А. Тарасенко, М. Є. Опанасенко, І. Г. Чернобай, Н. М. Трикоз. Київ: Логос, 2011. 100 с.

3. Павленко Ф. А. Вегетативне розмноження горіха грецького і фундука. Київ: Урожай, 1972. С. 31–66.

4. Сатіна Г. М. Формування внутрішнього і зовнішнього ринку волоських горіхів. Матеріали Шостих річних зборів Всеукраїнського конгресу вчених економістів аграрників. Київ: ННЦ ІАЕ, 2004. С. 299-303.

5. Словник античної міфології [уклад. І. Я. Козовик, О. Д. Пономарів]: 2-е вид. Київ: Наук. думка, 1989. С. 67–68.

6. Федорук Р. С., Матюха І. О. Перспективні технології виготовлення соєвого молока для потреб сільського господарства. Наук.-техн. бюл. Ін-ту біології тварин та Держ. н.-д. контрол. ін-ту ветпрепаратів та корм. добавок. 2008. С. 243–247.

СЕКЦІЯ 7. ЕКОЛОГІЧНА ПОЛІТИКА, УПРАВЛІННЯ, ОСВІТА ТА КОМУНІКАЦІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ
ENVIRONMENTAL POLICY, GOVERNANCE, EDUCATION AND COMMUNICATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 349.6:502.175:631.4

ПРОБЛЕМИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗАКОНОДАВСТВА З МОНІТОРИНГУ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ

***Ачасова А.О.**, канд. біол. наук, доцент.*
Науково-дослідний інститут моніторингу та охорони ґрунтів, м. Прага, Чеська Республіка

Директиви ЄС є елементом так званого „жорсткого права” (hard law), що характеризується юридичною обов’язковістю для суб’єктів права ЄС. Вони зобов’язують держави-члени досягти визначеного результату, проте залишають національним органам влади свободу щодо вибору форм і методів такої імплементації (транспозиції) відповідно до особливостей національної правової системи. Саме тому для імплементації будь-якої нової директиви держави-члени зобов’язані у встановлені строки: а) прийняти чи змінити національні закони й підзаконні акти; б) створити необхідні інституції й процедури; в) забезпечити належне застосування та контроль виконання, включно з системами звітності до Європейської Комісії. Невиконання цих обов’язків може призводити до процедури порушення (Infringement Procedure), суттєвих фінансових санкцій та обмеження доступу до фінансових інструментів ЄС.

Директива ЄС про моніторинг та стійкість ґрунтів (Директива 2025/2360 яку зазвичай називають Soil Monitoring Law, або SML) вступила в силу 16.12.2025 року. Як зазначено в ст. 26, держави-члени ЄС повинні ввести в дію закони, нормативні акти та адміністративні положення, необхідні для дотримання Директиви, до 17 грудня 2028 року. Це так званий період транспозиції, що дає змогу країнам ЄС адаптувати національне законодавство до загальних рамок, встановлених директивою.

Для України, яка задекларувала курс на євроінтеграцію, імплементація вимог директиви 2025/2360 є серйозним викликом, безпосередньо пов’язаним із доступом до спільного європейського ринку, Зеленою угодою та повоєнним відновленням території та аграрного сектору. Згідно з Угодою про асоціацію, на момент фактичного вступу в ЄС Україна повинна мати вже повністю імплементоване законодавство ЄС, діюче на момент вступу. Тобто Україна вже зараз зобов’язана наближати своє законодавство до норм ЄС, а отже й Директива 2025/2360 має стати частиною українського права.

Сутність Директиви ЄС 2025/2360 про моніторинг і стійкість ґрунтів полягає у створенні гармонізованої рамки оцінки «здоров’я ґрунтів» на основі набору

дескрипторів, єдиних підходів до відбору проб, вимірювань, використання дистанційного зондування та цифрової інфраструктури. Документ вимагає від держав-членів: 1) створити національну систему моніторингу ґрунтів, побудовану на репрезентативній мережі точок спостереження; 2) застосовувати стандартизовані методи відбору та аналізу, переважно на основі стандартів ISO/CEN; 3) визначити перелік обов'язкових ґрунтових дескрипторів (органічний вуглець, засолення, ущільнення, ерозія, забруднення, гідрофізичні властивості, біорізноманіття тощо); 4) встановити критерії «здорового стану» ґрунтів; 5) створити реєстр потенційно забруднених і забруднених ділянок; 6) забезпечити цифровий обмін даними та інтеграцію до відкритого загальноєвропейського порталу даних про здоров'я ґрунтів.

Ключовим інструментом в моніторингу здоров'я ґрунтів згідно Директиви 2025/2360 є система стійких цільових значень – Sustainable Target Values (STV) та оперативних тригерних значень параметрів ґрунтів Operational Trigger Values (OTV) для набору ґрунтових дескрипторів, частина яких чітко визначена в Директиві, як обов'язкові, частина – має бути обрана додатково самою країною, залежно від її особливостей. STV – це цільові орієнтири, які репрезентують бажаний, екологічно й агрономічно оптимальний стан ґрунтів. Натомість OTV – це порогові рівні деградації, перевищення яких сигналізує про необхідність термінового втручання задля збереження та відновлення ґрунту: детальнішої діагностики, запровадження практик сталого землеробства, ремедіації чи обмежень використання земель. Відповідно, OTV та STV є тими критеріями, за якими розрізняють добрий (якщо параметри ґрунту відповідають STV), задовільний (між STV та OTV), та поганий стан ґрунту (OTV та гірше).

Для України імплементація вимог Директиви про моніторинг ґрунтів це надскладне завдання з огляду на обсяг необхідних підготовчих зусиль та капіталовкладень. Порівняно з усіма країнами ЄС, Україна знаходиться в найскладнішому положенні. Головним чином тому, що для включення в загальноєвропейську систему моніторингу здоров'я ґрунтів України необхідно змінити практично всю власну систему моніторингу – від методичних підвалин до інституцій. Треба змінити саму концепцію моніторингу ґрунтів, перейти на інші методики відбору та аналізу зразків, адаптувати методики, за якими вже давно працюють країни ЄС, але яких раніше в Україні не використовували, модернізувати лабораторне забезпечення існуючих лабораторій та створити нові, прийняти нові Європейські стандарти, розробити або адаптувати до вимог Директиви власні нормативи оцінки стану ґрунту за обов'язковими дескрипторами, створити реєстр антропогенно забруднених ділянок, та вже розпочинати перший тур моніторингових спостережень. І все це для найбільшої за площею країни Європи, яка вже 4 роки веде виснажливу боротьбу із російською агресією, що призвела в тому числі до масштабних пошкоджень ґрунтового покриву приблизно на 30% української території. При чому значна частина цією території недоступна для будь-

яких спостережень. На додачу до того, весь цей величезний обсяг робіт має бути проведений в умовах жорсткої нестачі кваліфікованих кадрів, яка різко посилилась внаслідок втрати фахівців, спричиненої війною, але підвалини якої були закладені ще в довоєнні часи із закриттям кафедр та факультетів ґрунтознавства в профільних вишах України.

Якщо говорити про основні виклики імплементації Директиви по моніторинг ґрунтів в України, то їх можна структурувати наступним чином.

1) Зміна парадигми моніторингу ґрунтів. На відміну від діючого в Україні відомчого моніторингу на основі адміністративного ділення території та функціонального призначення земель, SML вимагає створення єдиного державного компетентного органу з моніторингу ґрунтів, відповідального за збір даних та прийняття управлінських рішень. Моніторинг має проводитись для всіх ґрунтів без виключення (не лише сільськогосподарських, а й лісових, лучних, міських, промислових територій та військових полігонів). Для його проведення вся територія країни має бути розділена на внутрішньо однорідні за ґрунтово-кліматичними, ландшафтними та господарськими умовами ґрунтові райони моніторингу (Soil Monitoring Districts). Для ефективного виконання Директиви райони мають базуватися на природних кордонах, а не просто на межах областей, як прийнято в Україні зараз.

2) Подолання методичних прогалин – перехід на нові стандарти, засвоєння нових методик, модернізація лабораторій для відповідності вимогам SML щодо методів аналізу та акредитація лабораторій за ISO/IEC 17025. Для включення в систему моніторингу ґрунтів ЄС, Україні необхідно здійснити масштабний перегляд системи ДСТУ перехід на відповідні міжнародні стандартизовані методики у сфері аналітичної хімії ґрунтів. Зокрема щодо таких базових параметрів, як визначення вмісту органічного вуглецю, гранулометричного складу ґрунтів та вмісту важких металів. Адаптувати нові методи, що раніше в Україні не використовувались, щодо аналізу забруднення PFAS та оцінки біорізноманіття ґрунтів шляхом ДНК-метабаркодингу.

3) Створення наукового підґрунтя для виконання вимог SML. Науково обґрунтований вибір мережі відбору ґрунтових зразків для моніторингу, розробка педотрансферних функцій для переведення існуючих даних щодо властивостей ґрунтів у формат, що вимагається SML, створення відкритого реєстру потенційно забруднених ділянок. Розробка національних критеріїв оцінки ґрунтів (значень STV/OTV) за обов’язковими та опціональними дескрипторами.

4) Управління даними. Soil Monitoring Law вимагає створення цифрового порталу даних про здоров’я ґрунтів, побудованого на стандартах ISO 28258, INSPIRE та інтегрованого з European Soil Data Centre. Це кардинально відрізняється від теперішньої ситуації в Україні, де дані розподілені між різними відомствами, зберігаються у несумісних форматах, часто недоступні для відкритого використання й територіально та відомчо фрагментовані.

5) Негативні наслідки воєнних дій створюють в Україні унікальну специфіку щодо вибору дескрипторів, методів аналізу, можливості доступу до забруднених ділянок та повоєнній ремедіації грунтів. В Україні поки що відсутні адаптовані національні протоколи для воєнно забруднених ґрунтів, реєстр таких ділянок, а також механізми сертифікації ремедійованих земель.

Таким чином, імплементація Директиви 2025/2360 вимагає докорінної реформи системи моніторингу, модернізації лабораторій та цифровізації даних. Для України це надскладний виклик, обтяжений війною та дефіцитом кадрів. Однак, успішна імплементація SML є критично важливою для євроінтеграції та відновлення України.

УДК 504:005.8:339.9

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ МІЖНАРОДНИХ ПРОЄКТІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛ

***Хрутьба В.О.**, доктор технічних наук, професор*
Національний транспортний університет, Україна
Eberswalde Sustainable Development University, Germany

Вступ. Сучасний етап розвитку суспільства характеризується загостренням екологічних проблем глобального та регіонального рівнів. Для України ці виклики суттєво посилені наслідками воєнних дій, що спричинили масштабні порушення екологічної рівноваги, деградацію природних ресурсів та зростання техногенного навантаження на довкілля. Водночас, екологічна складова є важливою частиною відновлення та реконструкції України, оскільки довготривалу безпеку, економічну стабільність і добробут населення можна забезпечити тільки через запровадження сталого підходу до відновлення. У цих умовах особливої актуальності набуває питання формування ефективних механізмів міжнародної співпраці у сфері екології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що проблематика міжнародного проєктного менеджменту активно розвивається у працях вітчизняних і зарубіжних науковців, зокрема Гарольд Керцнер, Джозеф Хехт, Володимир Бушуєв, Сергій Бушуєв, Наталія Бушуєва, Євгеній Крикавський. Значна увага приділяється питанням інтеграції принципів сталого розвитку, впровадження інноваційних екологічних технологій та розвитку міжуніверситетського співробітництва. Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання практичної підготовки міжнародних екологічних проєктів в умовах післявоєнного відновлення.

Метою роботи є дослідження особливостей підготовки міжнародних проєктів для вирішення екологічних проблем та обґрунтування підходів до підвищення ефективності цієї діяльності.

Результати дослідження. Встановлено, що підготовка міжнародних проєктів повинна базуватися на системному підході, який передбачає поєднання стратегічного планування, проєктного менеджменту та міжнародної комунікації. Методологічною основою є принципи сталого розвитку, зокрема збалансованість екологічних, економічних та соціальних складових.Важливим концептуальним підґрунтям є Національний план відновлення України, який визначає стратегічні напрями післявоєнного розвитку та передбачає інтеграцію до європейського простору. У межах цього плану екологічна складова розглядається як один із ключових пріоритетів [1].

Одним із ключових інструментів реалізації міжнародних екологічних ініціатив є участь у програмах Європейського Союзу, зокрема Erasmus+ та Horizon Europe, а також діяльність міжнародних організацій, зокрема DAAD. Зазначені програми забезпечують фінансову, організаційну та методичну підтримку реалізації проєктів, сприяють академічній мобільності та формуванню спільних наукових результатів.

Прикладами успішних міжнародних екологічних програм є LIFE Programme, що спрямована на реалізацію проєктів у сфері охорони довкілля та клімату, European Green Deal, який визначає стратегічний курс ЄС на досягнення кліматичної нейтральності, а також ініціативи UNEP, що координують глобальні заходи із захисту навколишнього середовища. Важливу роль відіграють і проєкти в межах Interreg, які сприяють транскордонному співробітництву та вирішенню спільних екологічних проблем.

Такі програми створюють практичне підґрунтя для впровадження інноваційних екологічних рішень, обміну досвідом та інтеграції України до європейського науково-освітнього простору.

Прикладом є міжнародний проєкт програми Erasmus+ «Мережа трансформаційного навчання для забезпечення стійкості сприяння українській вищій освіті у забезпеченні сталого та потужного відновлення (післявоєнної) України» (TransLearn), який реалізовувала міжнародна команда університетів під керівництвом Університету сталого розвитку м.Еберствальде (Німеччина), спрямований на розвиток трансформаційного навчання, впровадження інноваційних педагогічних підходів та посилення міжуніверситетської співпраці у сфері сталого розвитку. В результаті реалізації цього проєкту впроваджено підходи трансформаційного навчання у вищій освіті, розроблено сучасні навчальні матеріали й курси, підвищено компетентності викладачів і студентів у сфері сталого розвитку, а також посилено міжуніверситетську міжнародну співпрацю [2].

За фінансової підтримки DAAD реалізувався проєкт «Ukrainian-German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education (Consolidation and Expansion Phase 2025)» (Digital Ukraine) реалізує ініціативу орієнтована на цифровізацію освітнього та наукового середовища, розвиток цифрових компетентностей і впровадження сучасних ІТ-рішень у систему вищої освіти України, що є важливим чинником підтримки післявоєнного відновлення та екологічної модернізації [3]. Результатом проєкту стало впровадження цифрових інструментів в освітній і науковий процеси, розширення використання платформ дистанційного навчання Українсько-німецька мережа цифрового навчання (https://ukrdigital.hnee.de/), підвищення рівня цифрових компетентностей викладачів і студентів, а також формування сучасної цифрової інфраструктури закладів вищої освіти, що сприяє ефективному післявоєнному відновленню та екологічній модернізації України.

На основі узагальнення практичного досвіду визначено основні етапи підготовки міжнародних проєктів. Перший етап передбачає ідентифікацію проблеми та формування ідеї проєкту з урахуванням актуальних екологічних викликів. Другий етап полягає у пошуку міжнародних партнерів та встановленні комунікаційних зв’язків. Особливого значення набуває персоніфікований підхід до співпраці, орієнтований на взаємодію з конкретними дослідниками. Третій етап включає розробку концепції проєкту, визначення мети, завдань, очікуваних результатів, індикаторів ефективності та механізмів моніторингу. Четвертий етап – формування команди проєкту, яка повинна

мати міждисциплінарний характер. П’ятий етап – підготовка та подання проєктної заявки відповідно до вимог грантодавців.

У процесі дослідження також визначено основні бар’єри міжнародної співпраці. До них належать мовний бар’єр, недостатній рівень обізнаності щодо міжнародних програм, обмежені навички проєктного менеджменту та комунікації, а також психологічні фактори. Подолання цих бар’єрів можливе шляхом підвищення кваліфікації, участі у міжнародних заходах та розвитку професійних компетентностей.

Обговорення. Отримані результати підтверджують необхідність формування нової культури міжнародної наукової співпраці, яка базується на відкритості, довірі та довгостроковому партнерстві. Особливу роль відіграє формування репутаційного капіталу, що забезпечує конкурентоспроможність науковців у міжнародному середовищі. Крім того, доцільно підкреслити, що ефективність міжнародних екологічних проєктів значною мірою залежить від здатності інтегрувати міждисциплінарні підходи, поєднуючи екологічні, економічні та цифрові інструменти. У цьому контексті важливим є використання можливостей програм Horizon Europe та Interreg, які сприяють апробації інноваційних рішень у реальних умовах.

Окремої уваги потребує питання інституційної спроможності закладів вищої освіти та наукових установ до участі у міжнародних проєктах. Йдеться про розвиток проєктних офісів, удосконалення системи управління грантовою діяльністю та формування стійких партнерських мереж. У поєднанні з підвищенням рівня цифрових і комунікаційних компетентностей це створює передумови для більш активної інтеграції України у глобальний науковий простір та підвищення результативності екологічних ініціатив.

Висновки. Підготовка міжнародних проєктів для вирішення екологічних проблем є складним багаторівневим процесом, який потребує системного підходу та розвитку відповідних компетентностей. Україна має значний потенціал для активної участі у міжнародних ініціативах, що сприятиме ефективному відновленню довкілля та забезпеченню сталого розвитку.

Література

1. Хрутьба В. О., Кобзиста О. П., Лисак Р. С., Хрутьба Ю. С., Борятинський М. Ю., Бельмега І. В. Національний план реконструкції України як інструмент екологічної трансформації післявоєнного відновлення. Екологічні науки. 2025. Вип. 3 (60). С. 71–76. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.13

2. Мережа трансформаційного навчання для забезпечення стійкості сприяння українській вищій освіті у забезпеченні сталого та потужного відновлення (післявоєнної) України» https://translearnn.ztu.edu.ua

3. Ukrainian-German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education (Consolidation and Expansion Phase 2025)https://www.hnee.de/en/research/research-projects/ukrainian-german-teaching-network-2025

4. Українсько-німецька мережа цифрового навчання https://ukrdigital.hnee.de/

УДК 502.17:339.5.012(477)

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВУГЛЕЦЕВОГО КОРИГУВАННЯ ІМПОРТУ В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

***Остапенков Л.Л.**, аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища, **Непошивайленко Н.О.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища*
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

У сучасних умовах трансформації глобальної кліматичної політики Європейський Союз посилює інструменти регулювання викидів парникових газів, спрямовані на досягнення кліматичної нейтральності. Одним із ключових механізмів у цьому контексті є механізм вуглецевого коригування імпорту (CBAM), який фактично інтегрує екологічну складову у систему міжнародної торгівлі [1]. Його впровадження означає зміну принципів формування конкурентних переваг, оскільки вуглецевий слід продукції стає економічно значущим фактором. Для України, яка після 2022 року значно переорієнтувала свої експортні потоки на ринок Європейського Союзу, зазначений механізм набуває особливого значення і водночас створює комплексний виклик для національної економіки [3]. Сутність CBAM полягає у запровадженні обов'язку для імпортерів компенсувати різницю у вартості викидів між країнами-виробниками та ЄС. Таким чином, цей механізм спрямований на запобігання «вуглецевому витоку», коли виробництво переноситься у країни з менш жорсткими екологічними стандартами [2]. Водночас CBAM виконує функцію стимулювання глобальної декарбонізації, оскільки створює економічні передумови для модернізації виробництва та зниження викидів [8].

Українська економіка характеризується високим рівнем енергоємності та значною часткою галузей, які підпадають під дію CBAM, зокрема металургії, хімічної промисловості та енергетики. Ці сектори традиційно формують експортний потенціал країни, однак їх технологічна база часто є застарілою та залежною від викопних видів палива [6]. У зв'язку з цим впровадження CBAM створює ризик втрати конкурентоспроможності української продукції на європейських ринках, що може призвести до скорочення експорту, зменшення валютних надходжень і загального уповільнення економічного розвитку [4]. Додатковим ускладнюючим фактором є воєнний стан, який суттєво обмежує можливості адаптації до нових вимог. Руйнування промислової та енергетичної інфраструктури, зниження інвестиційної активності, а також перерозподіл державних ресурсів на оборонні потреби формують середовище, в якому реалізація довгострокових екологічних реформ стає надзвичайно складною [5]. Крім того, порушення логістичних ланцюгів і обмежений доступ до сучасних технологій ускладнюють процес модернізації виробництва.

Серед ключових проблем впровадження CBAM в Україні варто виділити інституційну неготовність держави до інтеграції у європейську систему кліматичного регулювання. Зокрема, в країні відсутня повноцінна система моніторингу, звітності та верифікації викидів, що унеможливлює точне визначення вуглецевого сліду продукції. Також не функціонує ефективний ринок торгівлі квотами на викиди, аналогічний до європейської системи EU ETS [2]. Це створює додаткові витрати для підприємств, які змушені адаптуватися до зовнішніх вимог без належної внутрішньої підтримки.

Фінансовий аспект проблеми також є надзвичайно важливим, оскільки впровадження CBAM передбачає суттєве зростання витрат для українських експортерів. Умови воєнного стану обмежують доступ до фінансових ресурсів, а високі ризики стримують інвестиції у модернізацію. За оцінками аналітичних центрів, негативний вплив CBAM може проявитися у скороченні ВВП та експортних надходжень [3]. Технологічне відставання промисловості ще більше посилює цю проблему, оскільки перехід до низьковуглецевих технологій потребує значних капіталовкладень і тривалого часу [6].

У контексті зазначених викликів можна виділити кілька можливих сценаріїв розвитку ситуації. Пасивна адаптація, за якої Україна не здійснює системних реформ, може призвести до поступової деіндустріалізації та втрати позицій на зовнішніх ринках. Часткова адаптація передбачає впровадження окремих заходів, що дозволяє знизити негативний вплив, однак не забезпечує довгострокової стійкості. Найбільш перспективним є сценарій активної трансформації, який передбачає комплексну модернізацію економіки, створення ефективної системи вуглецевого регулювання та інтеграцію з європейським ринком [7].

Вирішення окреслених проблем потребує системного підходу, який включає інституційні, фінансові та технологічні заходи. Насамперед необхідно створити національну систему торгівлі викидами та забезпечити її сумісність із європейськими механізмами. Важливим є також впровадження прозорої системи обліку викидів, що дозволить підприємствам ефективно управляти своїм вуглецевим слідом [1]. Фінансова підтримка має бути спрямована на стимулювання інвестицій у декарбонізацію, зокрема через залучення міжнародної допомоги та створення спеціалізованих фондів.

Технологічна модернізація повинна стати одним із ключових пріоритетів державної політики. Перехід до більш енергоефективних технологій, розвиток відновлюваної енергетики та використання інноваційних рішень можуть суттєво знизити рівень викидів і підвищити конкурентоспроможність української продукції [6]. Водночас важливу роль відіграє державна підтримка бізнесу, яка може включати компенсаційні механізми, податкові стимули та розвиток державно-приватного партнерства.

Міжнародна інтеграція також є важливим елементом адаптації до CBAM. Україна має активно співпрацювати з Європейським Союзом з метою отримання

фінансової та технічної підтримки, а також добиватися встановлення перехідних періодів, які дозволять поступово адаптувати економіку до нових вимог [7]. Участь у європейських кліматичних ініціативах сприятиме не лише зменшенню негативного впливу CBAM, але й прискоренню процесу інтеграції України до європейського економічного простору.

Таким чином, впровадження CBAM є складним, але водночас неминучим етапом трансформації української економіки. Попри значні виклики, пов'язані з воєнним станом, цей процес відкриває нові можливості для модернізації промисловості, підвищення енергоефективності та інтеграції до європейського ринку. Успішність адаптації значною мірою залежить від здатності держави реалізувати комплексну політику, спрямовану на поєднання економічних, екологічних та соціальних цілей. У довгостроковій перспективі це може сприяти формуванню більш стійкої та конкурентоспроможної економіки, здатної ефективно функціонувати в умовах глобальних кліматичних змін.

Література

1. Carbon Border Adjustment Mechanism: Information for importers and producers / European Commission. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023–2025. URL: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d62892d3-9e1c-11ee-b164-01aa75ed71a1/language-en (дата звернення: 19.04.2026).

2. Carbon Border Adjustment Mechanisms: Impacts and Policy Design / OECD. URL: https://www.oecd.org/environment/climate-change/carbon-border-adjustment-mechanisms.htm (дата звернення: 19.04.2026).

3. CBAM to cost Ukraine up to 2.1% of GDP by 2030 / GMK Center. URL: https://gmk.center/en/news/cbam-to-cost-ukraine-2-1-of-gdp-by-2030/ (дата звернення: 19.04.2026).

4. Impact assessment of CBAM on the economy of Ukraine / Federation of Employers of Ukraine. URL: https://fru.ua/images/doc/2025/Research_impact_assessment_EN.pdf (дата звернення: 19.04.2026).

5. CBAM as a threat to the Ukrainian economy / Razumkov Centre. URL: https://razumkov.org.ua/en/comments/cbam-effective-from-2026-is-the-greatest-threat-to-the-ukrainian-economy-and-budget-revenues-since-the-beginning-of-the-large-scale-aggression-of-the-russian-federation (дата звернення: 19.04.2026).

6. Industrial decarbonization challenges in Ukraine under CBAM / Ukrainian Energy. URL: https://ua-energy.org/en/posts/11-06-2025-616bdc9c-26bd-480a-b79a-1e553776b34b (дата звернення: 19.04.2026).

7. CBAM modelling report for Ukraine / Green Deal Ukraine. URL: https://greendealukraina.org/assets/images/reports/cbam.pdf (дата звернення: 19.04.2026).

8. Carbon border adjustment mechanisms and global trade effects // ScienceDirect. 2025. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262501491X (дата звернення: 19.04.2026).

УДК 502/504:349.6:338.2

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ЗЕЛЕНИЙ КУРС ЯК СТРАТЕГІЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ

***Василенко О.В.**, доцент, Уманський національний університет, м. Умань, Україна*

Публічне планування сталого розвитку має на меті запобігти соціо-екологічному колапсу; за умов економіки, що ґрунтується на необмеженому видобутку природних ресурсів, наше суспільство дедалі глибше занурюється в епоху антропоцену, де очікуються нові типи шоків, здатні поставити під загрозу соціо-екологічні системи Землі [1]. Планувальники та політики зосереджують увагу на пом'якшенні наслідків зміни клімату, щоб уникнути низки природних катастроф та соціально-економічного колапсу. Їхні зусилля спрямовані на трансформацію суспільства з метою покращення його взаємодії та інтеграції з довкіллям.

У 2019 році, після підписання Паризької угоди та розробки Порядку денного сталого розвитку до 2030 року, було представлено Європейський зелений курс (European Green Deal, EGD) як генеральний план трансформації ключових європейських економічних секторів у напрямі сталого суспільства та боротьби зі зміною клімату. До ухвалення EGD екологічне законодавство ЄС визначалося Планами дій у сфері довкілля, що реалізовувалися з 1970-х років. Однак наукова література повідомляє, що потенціал EGD щодо забезпечення сталих трансформацій суспільства піддається критиці. Це породжує питання щодо можливостей EGD як генерального плану переходу до сталого Європейського Союзу, а зміни, що відбуваються під впливом Європейського зеленого курсу, у науковій літературі часто розглядаються як потенційно суперечливі. Дослідники наголошують, що вони можуть спричинити додаткову деградацію довкілля та посилити соціально-економічну нерівність, що суперечить принципам сталого розвитку [2]. Існує також думка, що EGD може стати інструментом для відтермінування реальних трансформаційних кліматичних політик у державах-членах ЄС, зберігаючи усталені соціально-економічні практики та інституційні механізми, які значною мірою відповідальні за сучасну кліматичну кризу [3]. У цьому контексті виникає питання, наскільки «зеленим» і «справедливим» є сам курс, адже його риторика не завжди відповідає практичним результатам.

Методологічні підходи до аналізу таких стратегій є різноманітними: від оцінки екологічної сталості через показники енергоспоживання та рівень забруднення [4] до використання комплексних аналітичних рамок і дискурс-аналізу. Останній, як свідчить література, виявився особливо продуктивним, адже дозволяє не лише оцінити формальні положення політики, а й розкрити приховані інтереси, політичні мотиви та риторику, що визначають її реалізацію [5].

Європейський Союз здійснює оцінку сталості через екологічні оцінювання, розробивши методологію Стратегічної екологічної оцінки для планів і програм. У науковій літературі підкреслюється значення цього підходу для забезпечення

сталості, адже екологічні оцінки підвищують рівень підзвітності та сприяють досягненню екологічних цілей [6]. Крім того, SEA розглядається як важливий інструмент для переходу до сталого розвитку, особливо в контексті фінансування ЄС у сфері сталості [7].

Таким чином, критичний аналіз Європейського зеленого курсу є необхідним для розуміння його реального впливу на екологічну, соціальну та економічну сфери. Попри амбітні цілі, існує ризик, що без належної інтеграції різних вимірів сталості та без конкретних механізмів реалізації цей курс залишиться радше декларативним, ніж трансформаційним. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінку практичних результатів Європейського зеленого курсу у міському середовищі, адже саме міста є ключовими просторами, де можна перевірити ефективність екологічної політики та її здатність забезпечити справжню стійкість. Водночас важливо враховувати, що успіх Європейського зеленого курсу залежить не лише від політичної волі, а й від рівня залученості громадян та місцевих спільнот, які є безпосередніми учасниками процесів трансформації.

Література

1. Cumming G. S., Peterson G. D. Unifying research on social–ecological resilience and collapse. Trends in ecology and evolution, 2017. 32(9). P. 695–713.

2. Eckert E., Kovalevska O. Sustainability in the European Union: Analyzing the discourse of the European Green Deal. Journal of Risk and Financial Management,2021. 14(2), P. 80.

3. Samper J. A., Schockling A., Islar M. Climate politics in green deals: Exposing the political Frontiers of the European Green Deal. Politics and Governance, 2021. 9(2). P. 8–16. https://doi.org/10.17645/pag.v9i2.3853

4. Mao B., Chen H. Sustainability analysis of Chinese transport policy. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2001. 8(4). P. 323–336. https://doi.org/10.1080/13504500109470090

5. Fleming R. C., Mauger R. Green and just? An update on the European Green Deal. Journal for European Environmental & Planninglaw, 2021. 18(1). P. 164–180. https://doi.org/10.1163/18760104-18010010

6. Sheate W. R. Purposes, paradigms and pressure groups: Account-ability and sustainability in EU environmental assessment, 1985–2010. Environmental Impact Assessment Review, 2012. 33(1). P. 91–102. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.11.001

7. Galassi G., Levarlet F., Lorgeoux E. SEA for sustainable cities:How the strategic environmental assessment has driven the ESI pro-gramme towards urban sustainability. In A. Bisello, D. Vettorato, P.Laconte, S. Costa, (Eds.), Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions. SSPCR 2017. Green Energy and Technology. Springer, 2018.

УДК 504:005.334

ІНСТИТУЦІЙНА СПРОМОЖНІСТЬ РЕГІОНАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ КРИЗОВИХ ВИКЛИКІВ

Макєєва Д.С., *здобувач другого рівня вищої освіти за спеціальністю «Екологія»,*
Ричак Н.Л., *к. геогр. н., доцент,* ***Маляр Д. В.,*** *здобувач першого рівня вищої освіти за спеціальністю «Екологія»*
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна

Традиційне управління не справляється з викликами (техногенні ризики перекриваються війною, постійними воєнними діями – системними руйнуваннями житлової й критичної інфраструктури, пожежах на цивільних об'єктах, перебоях з електро- та водопостачанням, пошкодженні грунтового покриву через будівництво окопів, пошкодженні мостів і водопровідних мереж, а також у засміченні земель уламками зруйнованих споруд, стихійними сміттєзвалищами на конкретних ділянках громад. Тому без жорстких інституцій жодні кошти не врятують кризовий екологічний стан.

Об'єктом дослідження була система екологічного менеджменту Чугуївського району (на прикладі Чугуївської, Старосалтівської та Печеніжської територіальних громад).

Метою дослідження було оцінити рівень готовності регіональних структур до подолання екологічних криз та запропонувати шляхи його підвищення

1. Оцінка інституційної та управлінської спроможності проводилась на основі аналізу ефективності органів влади. Ефективність екологічного менеджменту в Чугуївській громаді забезпечується взаємодією Державної екологічної інспекції та органів місцевого самоврядування, які здійснюють нагляд за природоохоронним законодавством і реалізацію локальних екополітик. В умовах воєнного стану пріоритетним напрямом діяльності державних структур стала фіксація масштабних збитків довкіллю (зокрема, забруднення земель на суму понад 21,65 млн грн. [1]), що є критично важливим для подальшого правового реагування. До основних напрямів діяльності місцевих органів належать розробка та впровадження місцевих нормативно-правових актів у сфері благоустрою, поводження з відходами та захисту тварин, забезпечення утримання територій у належному екологічному стані, організація громадського обговорення екологічно значущих рішень. управління фокусується на благоустрої, поводженні з відходами та адаптації регуляторних актів до актуальних потреб громад. Попри наявність базових інституційних механізмів, загальна ефективність системи обмежується кризовим впливом бойових дій та системними проблемами державного екологічного контролю.

2. Було проаналізовано якість системи стратегічного планування екологічного розвитку Чугуївського району Харківської області, вона має багаторівневий характер і базується на інтеграції екологічних пріоритетів у загальні

програми територіального розвитку. Фундаментом цієї системи є Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища Харківської області на 2021–2027 роки та Стратегія розвитку регіону [2,3], що визначають вектори сталого розвитку, відновлення інфраструктури та підвищення екологічної безпеки. Важливим інструментом забезпечення якості планування виступає процедура стратегічної екологічної оцінки (СЕО), яка дозволяє превентивно аналізувати вплив регіональних та місцевих планів на стан довкілля та здоров'я населення. Нормативною основою стратегічного планування екологічного розвитку є Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку», який визначає метою СЕО сприяння сталому розвитку через охорону довкілля, безпеку життєдіяльності населення, охорону здоров'я та інтегрування екологічних вимог у документи державного планування [4]. Важливо підкреслити, що дія цього інструменту поширюється не тільки на класичні стратегії розвитку, а й на документи відновлення та розвитку регіонів і територіальних громад. Саме тому для Чугуївського району доцільно розглядати СЕО як обов'язковий фільтр якості рішень, який зменшує ризик прийняття планів, неузгоджених із фактичним станом довкілля та безпековими умовами.

На муніципальному рівні (Чугуївська, Старосалтівська, Печенізька громади) екологічна складова відображена у стратегіях територіального розвитку та спеціалізованих програмах охорони довкілля. Документи фокусуються на розв'язанні критичних вузлів: модернізації систем водозабезпечення, оптимізації поводження з відходами та збереженні природно-заповідного фонду. Особлива увага приділяється узгодженості місцевих ініціатив із національними економічними стратегіями, що підтверджується через обов'язкову СЕО генеральних планів та схем просторового планування.

Аналіз стратегічного базису дозволяє констатувати високий рівень інституційної інтеграції екологічної політики: вона не відокремлена, а є наскрізною складовою соціально-економічного планування. Проте, попри сформовану нормативно-проєктну базу, ефективність реалізації цих стратегій залишається залежною від обмеженого ресурсного забезпечення та необхідності адаптації планів до умов воєнного часу. Основними викликами, зафіксованими у документах, залишаються антропогенне забруднення водних об'єктів [5], незадовільний стан інженерних мереж та дефіцит потужностей для екологічно безпечної утилізації відходів.

3. Аналіз функціонування системи екологічного моніторингу в Чугуївському районі показав, що вона базується на принципах загальнодержавної мережі спостережень. Створена мережа забезпечує отримання фундаментальних даних про стан довкілля. На сучасному етапі спостереження за атмосферним повітрям та водними об'єктами басейну р. Сіверський Донець демонструють сталість методичних підходів, проте наявна мережа стаціонарних постів, яка налічує 49 пунктів моніторингу поверхневих вод, з них 31 пункт у Харківській області й 6

стаціонарних постів моніторингу атмосферного повітря в Донецькій області [6,7], потребує подальшого розвитку для більш повного охоплення локальних територій. Питання моніторингу ґрунтів наразі успішно вирішується в межах заходів державного екологічного нагляду, що дозволяє оперативно реагувати на виявлені порушення. Специфіка воєнних дій та воєнного стану зумовила адаптацію моніторингових процесів до нових викликів, зокрема посилення ролі епізодичних обстежень для оцінки наслідків надзвичайних ситуацій. Хоча безпекові фактори та технічні обмеження створюють певні перешкоди для безперервного збору даних, існуюча система зберігає свою працездатність та інституційну основу. Подальше підвищення ефективності екологічного управління вбачається у поступовій цифровізації точок спостереження та інтеграції даних різних відомств, що дозволить посилити превентивну складову антикризового менеджменту.

4. Виявлені в ході аналізу інституційні розриви та технічні обмеження зумовлюють необхідність перегляду стратегічних орієнтирів та формування цілісної системи антикризового екологічного менеджменту. Для подолання інституційних прогалин пропонується створити Районний кризовий екоцентр як координаційний та аналітичний вузол. Створення Районного кризового екоцентру дозволить об’єднати зусилля влади, ДСНС і громад у єдиний аналітичний та координаційний хаб. Структура центру має базуватися на циклічному принципі: від збору первинних даних моніторинговим підрозділом до розробки превентивних заходів та комунікації з населенням. Для реалізації стратегічних цілей варто впроваджувати високотехнологічні антикризові інструменти. По-перше – це впровадження цифровізації моніторингу, в результаті чого буде відбуватися інтеграція даних супутникового зондування (наприклад, Landsat) із державною платформою «ЕкоЗагроза». Це дозволить оперативно верифікувати пожежі та стихійні лиха; застосування методів математичного моделювання для раннього виявлення екологічних аномалій (зміна водності річок, деградація ґрунтів) у зонах бойових дій; впровадження заходів ремедіації ґрунтів, відновлення природних систем (заплавних лук, лісозахисних смуг) та модернізації очисних споруд.

Комплексне використання цих інструментів у поєднанні з екобюджетуванням та просвітницькою діяльністю дозволить сформувати стійку модель екологічного менеджменту, здатну мінімізувати наслідки воєнних дій та забезпечити сталий розвиток територій.

Література:

1. Оцінка екологічних збитків від ракетних обстрілів. *Державна екологічна інспекція у Харківській області*. URL: https://www.khark.dei.gov.ua/post/843.

2. Комплексна Програма охорони навколишнього природного середовища Харківської області на 2021-2027 роки. *ХАРКІВСЬКА ОБЛАСНА РАДА*. URL: https://oblrada-kharkiv.gov.ua/program/kompleksna-programa-ohorony-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-harkivskoyi-oblasti-na-2021-2027-roky/.

3. Проєкт Стратегії розвитку Харківської області на 2021–2027 роки / Харківська обласна державна адміністрація. URL: https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1026/102538/files/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F.pdf

4. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20.03.2018 № 2354-VIII : станом на 31 жовт. 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text.

5. Макєєва Д. С. Практичні аспекти оцінки якості водних об'єктів за гідрохімічними показниками. *Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2025 : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. за участю молодих науковців (Харків, 28 жовт. 2025 р.)*. Харків : ХНАДУ, 2025. С. 90–92.

6. Державний моніторинг поверхневих вод. *Сіверсько-Донецьке басейнове управління водних ресурсів*. URL: https://sdbuvr.gov.ua/derzhavnyy-monitorynh-poverkhnevykh-vod.

7. Інформація по моніторингу атмосферного повітря. *Головна | Донецька Обласна Державна адміністрація*. URL: https://dn.gov.ua/news/informatsiya-po-monitoryngu-atmosfernogo-povitrya.

УДК 378:502/504

ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК У СТАНДАРТАХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ БАКАЛАВРСЬКОГО І МАГІСТЕРСЬКОГО РІВНІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ

Безсонний В.Л. *д.т.н.,* [1] ***Некос А.В.****, д.геогр.н.*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна

Переорієнтація України на модель відновлення, що поєднує економічну ефективність, соціальну згуртованість і екологічну безпеку, актуалізує перегляд змісту вищої освіти. Цілі сталого розвитку України до 2030 року визначені державою як орієнтири для програмних та нормативно-правових документів, що мають забезпечувати збалансованість економічного, соціального й екологічного вимірів розвитку [1]. За таких умов стандарти вищої освіти мають не лише декларувати екологічні цінності, а й задавати обов'язкові компетентності та результати навчання для всіх спеціальностей.

Методична база для такої інтеграції в Україні сформована. У Методичних рекомендаціях щодо розроблення стандартів вищої освіти в редакції 2017 р. до обов'язкових загальних компетентностей бакалавра віднесено усвідомлення необхідності сталого розвитку, а до рекомендованих – прагнення до збереження навколишнього середовища [2]. У 2025 р. МОН затвердило нові Методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти, що свідчить про актуалізацію підходів до їх формування [3]. Однак на рівні конкретних стандартів спеціальностей екологічна складова представлена нерівномірно.

Показовим є порівняння стандартів різних галузей знань. У стандарті спеціальності 281 «Публічне управління та адміністрування» першого (бакалаврського) рівня серед загальних компетентностей прямо закріплено усвідомлення необхідності сталого розвитку суспільства [4]. Аналогічно у стандарті спеціальності 081 «Право» бакалаврського рівня міститься як компетентність щодо усвідомлення необхідності сталого розвитку, так і окрема компетентність – прагнення до збереження навколишнього середовища [5]. Це означає, що на бакалаврському рівні екологічна й sustainability-компонента вже інституційно визнана як елемент загальної підготовки майбутнього фахівця.

Разом з тим на магістерському рівні спостерігається інша тенденція. У профільному стандарті спеціальності 101 «Екологія» екологічна складова є системоутворювальною: об'єктом вивчення визначено антропогенний вплив на довкілля та оптимізацію природокористування, а серед фахових компетентностей – діяльність у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування [6]. Натомість у стандартах магістерського рівня за

спеціальностями 051 «Економіка» та 073 «Менеджмент» прямі згадки про сталий розвиток чи збереження навколишнього середовища відсутні [7; 8]. Отже, екологічна складова на другому рівні вищої освіти виразно концентрується передусім у профільних спеціальностях, але не набуває міжгалузевого характеру.

Такий стан дає підстави сформулювати кілька проблемних позицій. По-перше, в українських стандартах вищої освіти досі відсутній єдиний обов'язковий міжгалузевий мінімум екологічних компетентностей для всіх спеціальностей бакалаврського та магістерського рівнів. По-друге, порушується принцип наступності: якщо на бакалаврському рівні екологічна проблематика частіше присутня хоча б у вигляді загальних компетентностей, то на магістерському рівні вона нерідко зникає зі стандартів непрофільних спеціальностей. По-третє, у значній частині стандартів екологічна складова має переважно декларативний характер і не трансформується в конкретні результати навчання, пов'язані з оцінюванням екологічних ризиків, наслідків управлінських рішень, принципів зеленої трансформації чи повоєнного відновлення територій.

У цьому контексті доцільно посилити стандарти вищої освіти трьома групами вимог: 1) закріпити для всіх спеціальностей базову загальну компетентність щодо екологічної відповідальності та сталого розвитку; 2) передбачити щонайменше один програмний результат навчання, що орієнтує здобувача на врахування екологічних наслідків професійної діяльності; 3) забезпечити міжрівневу наступність, коли на бакалаврському рівні формується ціннісна й світоглядна основа, а на магістерському – інструментальна здатність застосовувати принципи сталого розвитку в аналізі, управлінні, правотворенні, економічному обґрунтуванні та проєктуванні політик.

Отже, екологічна складова та ідея сталого розвитку вже мають нормативні передумови для інтеграції у стандарти вищої освіти України, але фактичне відображення цих підходів у стандартах спеціальностей залишається фрагментарним. Це знижує здатність системи вищої освіти формувати фахівців, які готові діяти в умовах кліматичних викликів, зеленої трансформації та відновлення України. Подальше оновлення стандартів має бути спрямоване на перехід від декларативного згадування екологічних цінностей до чітко визначених компетентностей і результатів навчання, спільних для різних галузей знань.

Література

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019.

2. Методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти : затв. наказом МОН України від 01.06.2017 № 600 (у редакції наказу від 21.12.2017 № 1648). URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/rekomendatsii-1648.pdf.

3. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розроблення стандартів вищої освіти : наказ МОН України від 27.03.2025 № 512. URL: https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-metodychnykh-rekomendatsii-shchodo-rozroblennia-standartiv-vyshchoi-osvity.

4. Стандарт вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, спеціальність 281 «Публічне управління та адміністрування» : наказ МОН України від 29.10.2018 № 1172. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/281-publichne-upravlinnya-ta-administruvannya.pdf.

5. Стандарт вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, спеціальність 081 «Право» : наказ МОН України від 20.07.2022 № 644 (зі змінами). URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2022/07/21/081-pravo-bakalavr-zi.zminamy-644-20.03.2023.pdf.

6. Стандарт вищої освіти України: другий (магістерський) рівень, спеціальність 101 «Екологія» : наказ МОН України від 04.10.2018 № 1066. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/101-ekologiya-magistr.pdf.

7. Стандарт вищої освіти України: другий (магістерський) рівень, спеціальність 051 «Економіка» : наказ МОН України від 04.03.2020 № 382. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/03/051-ekonomika-M.pdf.

8. Стандарт вищої освіти України: другий (магістерський) рівень, спеціальність 073 «Менеджмент» : наказ МОН України від 10.07.2019 № 959. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/07/12/073-menedzhment-magistr.pdf.

УДК 372.881.1

СТАЛИЙ РОЗВИТОК У ВИВЧЕННІ ІНОЗЕМНИХ МОВ: ОСНОВНІ ВИКЛИКИ

Ципіна Д.С.,
к.пед.н., доцент кафедри іноземних мов та міжкультурної комунікації,
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
м. Харків, Україна

Освіта в інтересах сталого розвитку (ОСР) як міжнародна освітня ініціатива посідає одне з провідних місць у Порядку денному ООН до 2030 року, метою якого є забезпечення інклюзивної, рівноправної та якісної освіти для всіх, а також можливостей для навчання протягом усього життя. На освітні установи у всьому світі покладається завдання передавати компетенції, які дозволяють кожному окремому індивідууму активно та самостійно формувати майбутнє в дусі сталого розвитку та брати участь у місцевих і глобальних процесах розвитку, що мають екологічне, економічне та соціокультурне значення. Однак ще не сформульовано чітко, як саме можна конкретно реалізувати ОСР у дидактичній та педагогічній науці, а отже, і в галузі вивчення німецької мови як іноземної та другої мови.

Не лише в Німеччині з 2005 року ОСР увійшла до навчальних програм початкових та середніх шкіл, а також університетів. Тенденцію до більш активного впровадження ОСР у різних освітніх установах, у формальних, неформальних та інформальних контекстах навчання можна спостерігати в усьому світі. Однак у багатьох країнах вона поки що не виходить за межі планування. Так, більшість країн зараз розробляють політичні рамки для підтримки освіти в інтересах сталого розвитку, або вже розробили їх, або ж знаходяться в процесі їх впровадження. Проте крок до структурної інтеграції ще не вдалося повністю здійснити через різні виклики, що виникають під час реалізації.

Ситуацію ускладнює те, що освіта не скрізь має однакове значення і, зокрема, в економічно слабших державах поступається місцем іншим цілям розвитку як пріоритет. Частково через відсутність правової основи глобальне закріплення ОСР у навчальних програмах та планах, а також перехід від проекту до структури в більшості випадків ще не відбулися.

Ще одна проблема при впровадженні ОСР пов’язана з навчальним змістом. За останні роки з’явилася велика кількість вільно доступних ресурсів, які покликані полегшити впровадження ОСР у навчальному процесі. Діапазон цих ресурсів простягається від концепцій і прикладів проектів до готових дидактичних матеріалів. Незважаючи на всю багатогранність цих ресурсів, їхнім найменшим спільним знаменником є підхід до організації навчання, спрямований на розвиток багатофункціональних та контекстуально-перехресних ключових компетентностей, серед яких системна, оцінювальна та практична компетентності. Відповідно до поняття компетентності, вони складаються з фахових знань,

міждисциплінарних та практичних знань щодо дій, а також із соціальних, мотиваційних та вольових здібностей, поглядів та цінностей, які у своїй взаємодії призводять до дій, що мають значення для сталого розвитку, і тим самим до вирішення глобальних можуть сприяти вирішенню завдань у мінливих ситуаціях. При цьому різноманітність комбінацій того, що може складати компетенцію, є великою, і поки що немає єдиного теоретичного пояснення того, як різні часткові компетенції співвідносяться між собою та як вони взаємодіють.

У дослідженнях з ОСР існує диференційований дискурс щодо ключових компетентностей, пов’язаних зі сталістю, які слід розвивати; проте точне формулювання та ґрунтовне моделювання концептів компетентності значною мірою ще не відбулося. Також необхідно більш чітко розмежувати зміст за різними сферами освіти та контекстами навчання. Наразі переважають підходи, які обговорюють компетентності ОСР для шкільної освіти або в рамках певних навчальних програм, але не розглядають, наскільки вони підходять для інших сфер освіти. Це ускладнює інтеграцію та систематичне впровадження ОСР у сферах освіти поза шкільною системою.

Подібна проблема виявляється у ще недостатньо визначених професійних знаннях та необхідних навичках, якими повинні володіти викладачі у контексті ОСР. Досі лише частково сформульовано компетентності та конкретні професійні знання, необхідні викладачам для впровадження ОСР у навчальному процесі. Проекти навчальних програм з ОСР, не пов'язані з конкретними дисциплінами, які також були б корисними для міжпредметного викладання іноземних мов, ще не реалізовані, незважаючи на очевидну актуальність (іншо)мовних комунікативних навичок у сфері навчання глобального сталого розвитку.

Досі, незважаючи на спільні точки дотику, детальне вивчення ОСР у викладанні іноземних мов ще не відбувалося. Як аргумент наводиться те, що ОСР важко впровадити поза межами предметних дисциплін. При цьому саме міждисциплінарне, міжкультурне викладання іноземних мов виявляється цінним для сталого розвитку освіти. Основною метою вивчення іноземної мови є набуття комунікативних компетенцій, а саме дискурсивної здатності/свідомості, щоб вступити у безпосередній обмін з носіями мови, яку вивчають. Крім того, комунікація іноземною мовою може також слугувати для формування певних моделей поведінки як на індивідуальному рівні, так і в групі, якщо вона відбувається в дусі орієнтації на дію. Комунікативні компетенції, а також орієнтоване на дію навчання та викладання протягом останніх десятиліть отримали все більшу увагу в значній частині емпіричних досліджень у галузі освіти та навчання і, відповідно, у викладанні іноземних мов, причому закликають викладати мови наочно та з урахуванням життєвої реальності студентів.

Унаслідок глобалізації сьогодні, як ніколи раніше, мови викладаються з орієнтацією на реальне життя, комунікативність та практичну діяльність. Під час вивчення мови студенти можуть переконатися, що за допомогою мови вони можуть

досягати професійних цілей. Таким чином, навчання дає студентам можливість не тільки правильно застосовувати мову в різних комунікативних ситуаціях, але й діяти за допомогою мови. Формування ключових компетентностей, орієнтованих на практичну діяльність, є також одним із головних акцентів освітньої концепції «Глобальне навчання» як частини ОСР. У цьому проявляється взаємозв'язок між ОСР та вивченням іноземних мов: викладання іноземних мов відповідає концепції глобального навчання, якщо воно формує у учнів чутливість до актуальних для майбутнього тем та складних викликів у глобалізованому світі та розвиває відповідні комунікативні навички мовою, що вивчається, які дозволяють учням здійснювати дії, пов'язані зі сталим розвитком.

Для викладання мов це означає, що в ньому мають ставитися завдання, пов'язані з реальністю, та розглядатися теми/ситуації, які дозволяють випробувати мовленнєві дії та їхній ефект, щоб це можна було успішно реалізувати й поза уроком. Розуміючи мову як форму діяльності, викладання іноземних мов може стати важливим засобом для досягнення цілей освіти освіти в інтересах сталого розвитку. Воно відкриває перед учнями можливості спільно брати участь у формуванні – що є головним критерієм ОСР – та сприяє глобальному взаєморозумінню як основній передумові для реалізації світового сталого розвитку.

Таким чином, (іншо)мова як засіб взаємодії в рамках міждисциплінарного та міжнародного суспільства знань, а також засіб у дискусії щодо глобального розвитку відіграє ключову роль, врахування якої як специфічної форми людської діяльності в рамках освіти для сталого розвитку ще не було достатньо розглянуто.

Чи буде мережеве навчання, пов'язане зі сталим розвитком, і в якій формі воно буде сильніше визначати практику викладання іноземних мов у майбутньому, частково залежить від того, як розвиватиметься структурна інтеграція ОСР у навчальні програми, а також від готовності викладачів, видавництв та авторів підручників розширити традиційні парадигми краєзнавства та культури та реалізувати їх у глобальній перспективі.

УДК 37.033:373.3

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ В ПОЧАТКОВІЙ ШКОЛІ: ВІД ЕМОЦІЙНО-ЦІННІСНОГО СТАВЛЕННЯ ДО СТАЛОГО МАЙБУТНЬОГО

Староста В.І., *доктор пед. наук,*
Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна

Сучасна парадигма української освіти базується на принципах сталого розвитку та формування екологічної грамотності як однієї з ключових компетентностей Нової української школи (НУШ) [1]. У контексті Концепції розвитку природничо-математичної (STEM) освіти [2], екологічне виховання перестає бути ізольованим напрямом і стає наскрізною лінією, що інтегрує природничі знання з практичними навичками збереження довкілля.

Сьогодні роль освіти у формуванні екологічної свідомості є критичною, оскільки вона має забезпечити перехід від пасивного споглядання природи до активної участі у її відновленні. Це особливо актуально для початкової ланки освіти, де закладається фундамент емоційно-ціннісного ставлення до навколишнього світу. Інтегрований курс «Я досліджую світ» (ЯДС) виступає базовим інструментом для реалізації ST(R)E(A)M-підходів, дозволяючи поєднувати спостереження, експеримент та етичну оцінку людської діяльності.

Мета даного дослідження – здійснити порівняльний аналіз думок вчителів початкових класів щодо можливостей чинних підручників інтегрованого курсу «Я досліджую світ» у розвитку екологічної свідомості учнів.

Емпіричне дослідження проводили шляхом долучення 1302 респондентів – вчителів початкових класів з різних регіонів України. Оскільки в сучасних умовах серед пріоритетних напрямків розвитку освіти є її екологізація, то нами це враховано під час формулювання питання до респондентів під час анонімного онлайн опитування з використанням Google Forms у контексті реалізації сталого розвитку: «Оцініть можливості підручника «Я досліджую світ» («ЯДС») щодо формування/розвитку досвіду емоційно-ціннісного ставлення до навколишнього світу». Запропоноване в анкеті питання є ключовим для стратегії сталого розвитку і враховує:

- психологічний аспект, оскільки екологічна свідомість старшокласника чи дорослого базується на емоційному фундаменті, закладеному в дитинстві, а без емоційного зв’язку з природою неможливо сформувати сталу мотивацію до її захисту;
- методологічний аспект, оскільки підручник «Я досліджую світ» є основним інтегрованим інструментом у початковій школі, що поєднує природничу та інші освітні галузі. Оцінка його можливостей дозволяє зрозуміти, чи достатньо в освітньому контенті «людського виміру» екології.

Для оцінювання респонденти використовували 9-бальну шкалу; отримані результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Деякі статистичні показники опитування вчителів початкових класів

Показники	Група респондентів	Mean	N	MSD
Місцезнаходження закладу освіти	Село	6,60	816	1,806
	Місто	6,66	486	1,846
Клас навчання	Клас 1-2	6,47	502	1,819
	Клас 3-4	6,56	529	1,817
Вік педагога	До 30 років	6,60	99	1,889
	30-50 років	6,52	547	1,813
	Більше 50 років	6,71	656	1,815
Разом		6,62	1302	1,821

Позначення: N – обсяг вибірки; Mean – середнє значення; MSD – середнє квадратичне відхилення/Mean squared deviation.

Таблиця 2

Результати розрахунку t-критерію для незалежних вибірок

Незалежні вибірки вчителів	t	Df	Sig.	MD
Вчителі (1-2 клас) – Вчителі (3-4 клас)	-0,858	1029	0,391	-0,097
Вчителі до 30 р. – Вчителі 30-50	-0,582	753	0,561	-0,114
Вчителі до 30 р. – Вчителі більше 50 р.	-0,582	753	0,561	-0,114
Вчителі до 30-50 р. – Вчителі більше 50 р.	-1,785	1201	0,074	-0,188
Вчителі сільських шкіл – Вчителі міських шкіл	-0,607	1300	0,544	-0,063

*Позначення***:** t – t-критерій; df – ступені вільності; Sig. – значущість (двостороння/2-tailed); MD – середня різниця/Mean Difference.

Аналіз оцінювання вчителями за 9-бальною шкалою показує наступне:

- Загальна оцінка. Середній бал оцінки можливостей підручника щодо формування/розвитку емоційно-ціннісного ставлення до світу становить 6,62, що вказує на можливість подальшого покращення.
- Віковий аспект. Найвищу оцінку потенціалу навчальної літератури дали педагоги віком більше 50 років (6,71), тоді як учителі віком 30-50 років оцінили цей показник дещо нижче – 6,52.
- Локація та класи. Вчителі міських шкіл оцінюють можливості підручника дещо вище (6,66), ніж їхні колеги у сільській місцевості (6,60).

Приймали нульову гіпотезу, згідно з якою розходження між вибірками може зумовлюватися випадковими причинами, тобто вибірки приблизно однакові за дослідженими показниками. Важливо зазначити, що згідно з розрахунком t-критерію для незалежних вибірок, статистично значущої різниці між оцінками вчителів 1-2 та 3-4 класів не виявлено (6,47 та 6,56 відповідно); також відсутня статистично значуща різниця за іншими дослідженими показниками (табл. 2). Це

свідчить про сталу, однорідну думку педагогічної спільноти щодо інструментарію курсу «ЯДС» незалежно від місця роботи чи досвіду педагога.

Незважаючи на позитивну оцінку (вище середнього за 9-бальною шкалою), з нашого погляду, можна запропонувати певні напрямки для подальшої екологізації підручників «ЯДС», зокрема:

- Посилення практичної складової, шляхом доповнення теоретичного змісту підручників реальними та віртуальними STEM/STEAM/STREAM-проєктами [3, 4] (наприклад, створення шкільних еко-систем, моніторинг локального біорізноманіття тощо).
- Цифровізація екологічної освіти шляхом розширення використання безкоштовних веб-платформ (наприклад, Mozaik https://www.mozaweb.com/uk/, Be.Eco https://surl.lu/ivjjdp для візуалізації екологічних процесів, які важко відтворити в класі та ін.).
- Міжпредметна інтеграція завдяки більш тісного поєднання екологічних тем/проєктів з математикою (розрахунок ресурсів) та соціальними науками (громадянська відповідальність).

Висновки. Формування екологічної свідомості молодших школярів є комплексним завданням, де підручник «Я досліджую світ» відіграє роль базового орієнтира. Проведене дослідження підтверджує, що українські педагоги в цілому готові до реалізації еко-освітніх завдань, проте середній бал 6,62 вказує на наявність резервів для підвищення якості навчального контенту. Перспективи вдосконалення, з нашого погляду, полягають у впровадженні STEAM-технологій, які дозволять перейти від вивчення «про природу» до активного навчання «для природи» у контексті післявоєнного відновлення України та глобальних стратегій сталого розвитку.

Література

1. Концепція Нова українська школа (2016). Упорядники: Л. Гриневич, О. Елькін, С. Калашнікова та ін.; заг. ред. М. ПОЛІЩУК. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf.

2. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 960-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text.

3. Вакарін С.І. Нова українська школа: Дидактичні основи STREAM-освіти в початковій школі : Навчально-методичний посіб. Київ : Саміт-книга, 2021. 144 с. URL: https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi68/0050056.pdf.

4. Rahman A., Mukhamad M., & Bambang S. Augmented Reality in STEAM Education: A Systematic Review of Collaborative Practices for Primary Schools. *International Journal of Interactive Mobile Technologies,* 2025. *Vol. 19*(10), pp. 163-181. DOI https://doi.org/10.3991/ijim.v19i10.51825. URL: https://www.scopus.com/pages/publications/105007019340?origin=resultslist.

УДК 504.06:37.013

ЕКОПРОСВІТА ШКОЛЯРІВ У АСПЕКТІ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО СПРЯМОВАНИХ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

***Некос А. Н.**, доктор географічних наук, професор,*
***Уварова С. Д.**, студентка 3 курсу, бакалаврат,*
***Шабалін А. Ю.**, студентка магістратури,*
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

Знання і усвідомлення швидкого прогресу у створенні сучасних екологічно спрямованих інноваційних технологій та перспектив їх використання суттєво розширюють можливості екологічної просвіти, перетворюючи її на дієвий інструмент формування екологічної свідомості людства і, у першу чергу, підростаючого покоління. Рекреаційне навантаження та забруднення території побутовим і виробничим сміттям призводить до ущільнення ґрунту, порушення гідрологічного режиму, зниження біорізноманіття та поступової деградації лісових комплексів [1]. Поєднання теоретичних знань з екології з вивченням, наприклад, передових технологій поводження з відходами, дозволяє не лише показати гостроту екологічних проблем, а й продемонструвати реальні інноваційні наукові рішення, які вже сьогодні перетворюють відходи на цінні матеріали та джерела енергії. Результати опитування показали, що школярі старших класів часто мають обмежене уявлення про наслідки накопичення відходів для природних екосистем. У контексті післявоєнного відновлення України та переходу до зеленої економіки особливо важливо формувати у молоді розуміння, що відходи – це не лише екологічна загроза, а й потенційний ресурс, який сучасна наука здатна ефективно використовувати. Такого плану просвітянські заходи можливо проводити зі школярами у рамках неформальної екологічної освіти у вигляді тренінгів, турнірів, конкурсів проєктів, хакатонів тощо.

Авторами розроблено і пропонується модель методичної розробки екопросвітницького заходу для старшокласників. З метою практичного ознайомлення школярів з сучасними екологічно спрямованими технологіями було розроблено модель навчального екопросвітницького заходу для учнів 9–11 класів «Еко-інновації: наука може допомогти перетворити відходи на сировину». Захід розрахований на групу 25–30 осіб і триватиме три години.

Програма екопросвітницького заходу складається з чотирьох тематичних блоків. Головною метою цих блоків є ознайомлення школярів з вітчизняним і закордонним досвідом застосування сучасних екологічно спрямованих технологій у сфері поводження з відходами та ресурсозбереження.

Перший блок присвячено вивченню питань, пов’язаних з технологіями переробки пластикових відходів у будівельні матеріали. Учням можна у якості прикладу розкрити питання про те, як пластикові пляшки та кришки після

сортування, миття та подрібнення перетворюються на високоміцну тротуарну плитку, кришки для каналізаційних люків, бордюри та садові елементи. Особливу увагу слід приділити порівнянню матеріалів як вторинної сировини з традиційними матеріалами для виробництва: вони не вбирають вологу, стійкі до морозу, довговічніші та дозволяють ефективно вирішувати проблему пластикового забруднення. Бажано продемонструвати відеоролік відповідної тематики. Також рекомендується навести конкретні приклади втілення інноваційних технологій: зокрема виробництва полімерпіщаної тротуарної плитки з поліетиленових пакетів та плівки у місті Іллінці Вінницької області [2], виготовлення тротуарної плитки з перероблених пластикових відходів на навчально-виробничому підприємстві у Кролівці Сумської області [3], ініціативи з виробництва бруківки з неліквідного пластику в Одесі [4], а також виготовлення кришок для каналізаційних люків зі 100% вторинного пластику у Запоріжжі [5]. Блок завершується дискусією за круглим столом про реальні можливості впровадження таких технологій, виробничий потенціал цих технологій для зменшення обсягів пластикових відходів в Україні.

У другому блоці можна розглядати інноваційні розробки Сполучених Штатів щодо створення цементного суперконденсатора, запропонованого у Массачусетському технологічному інституті. Школярів ознайомлюють з можливостями використання інноваційних технологій, коли звичайний бетон може накопичувати електроенергію від сонячних панелей удень і віддавати її вночі або в похмуру погоду [6]. Це рішення відкриває перспективи створення енергонезалежних будинків і житлових мікрорайонів, що особливо важливо для України в умовах повоєнного відновлення енергетичної інфраструктури. Блок завершується обговоренням питань щодо можливостей застосування такої технології в українському будівництві.

Третій блок може бути присвячений досвіду Данії щодо важливості заміни частини звичного білого вуличного освітлення на червоне [7]. Учні дізнаються, як біле світло негативно впливає на нічну фауну – кажанів, комах і птахів, порушуючи їх орієнтацію та підвищуючи ризик загибелі. Червоне освітлення майже не заважає тваринам, при цьому залишається достатньо ефективним для людей. Це демонструє, що навіть прості технічні зміни можуть суттєво зменшити негативний вплив урбосистем на біорізноманіття. Блок завершується дискусією доцільності впровадження подібних екологічно спрямованих дій в українських містах.

Четвертий блок може бути представлений системними національними екологічними рішеннями провідних країн. Пропонується розглянути досвід Німеччини і багатьох інших країн з обов’язковим роздільним збором сміття. Навести приклад збору сміття у Швеції, де на звалища потрапляє лише 0,8 % побутових відходів та Японії з її філософією «zero waste» і використанням плазмової газифікації [8]. Також обговорити наслідки для лісів від виробництва традиційного туалетного паперу і перспективи екологічно спрямованих

альтернатив, таких як використання сучасних гігієнічних сантехнічних приладів та виробництво паперу з бамбука або переробленої сировини [9,10]. Блок можна завершити декларативними підсумками щодо ефективного поводження з відходами за умови лише комплексного підходу та державною підтримкою на законодавчому рівні.

Після теоретичної частини команди школярів переходять до етапу практичних дій – ХАКАТОНУ – виконання інтенсивного командного завдання – «Моя еко-інновація для України». Кожна команда отримує завдання, в якому передбачено створити і запропонувати, як можна адаптувати одну з розглянутих сучасних екологічно спрямованих технологій та впровадити в умовах їхнього міста, села чи району. На підготовку відводиться обмежений час, після чого команди презентують свої ідеї. Презентації супроводжуються брифінгом, під час якого ведучій заходу та інші учасники ставлять питання щодо реалістичності, екологічної ефективності та потенційних перешкод впровадження. Завершується практична частина розподілом призових місць та видачею сертифікатів про участь у ХАКАТОНІ.

Запропонована модель екопросвітницького заходу для старшокласників забезпечує комплексне формування різноманітних компетентностей. На когнітивному рівні школярі отримують знання про сучасні екологічно спрямовані технології. На практичному рівні розвиваються навички аналізу інформації, командної роботи, креативного мислення та публічного представлення власних ідей. На ціннісному рівні формується позитивне ставлення до науки як до інструменту вирішення екологічних проблем і усвідомлення особистої відповідальності за майбутнє довкілля.

Впровадження таких екопросвітніх форматів в Україні особливо актуальне в умовах повоєнного відновлення та переходу до зеленої економіки. Чим більше молоді знатиме про сучасні екологічні інновації, тим більша ймовірність того, що в майбутньому зросте кількість людей, готових підтримувати та впроваджувати зелені технології, сприяючи сталому розвитку країни та зменшенню екологічного навантаження на природні системи.

Література

1.Уварова С. Д. Формування екологічного світогляду школярів на базі об’єктів природно-заповідного фонду. Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Житомир, 22–26 верес. 2025 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2025. С. 183-184: URL: https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/11/povnyj-tekst.pdf

2. У Запоріжжі виготовлятимуть екологічні кришки люків. Sky.zp.ua. 2021. 30 червня: URL: https://sky.zp.ua/u-zaporizhzhi-vigotovlyatimut-ekologichni-krishki-lyukiv/

3. На українському навчально-виробничому підприємстві виготовляють тротуарну плитку з переробленого пластику. ANC-project. 2022. 24 червня: URL: https://anc-project.com/ua/news/novi-tehnologii-ta-materiali/na-ukrainskomu-navchalno-virobnichomu-pidpriemstvi-vigotovlyayut-trotuarnu-plitku-z-pereroblenogo-plastiku.html

4. Одесити навчилися робити тротуарну плитку з пластикових пляшок. Тротуарна плитка та Бруківка. 2023. 15 березня: URL: https://brukivka.com.ua/novyny/odesyty-navchylysya-robyty-trotuarnu-plytku-z-plastykovyh-plyashok/

5. На Вінниччині підприємство виробляє тротуарну плитку з пластикових пакетів. ЕкоПолітика. 2021. 26 жовтня: URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/na-vinnichini-pidpriiemstvo-viroblyaie-trotuarnu-plitku-z-plastikovih-paketiv-video/

6. Hart E. Say Goodbye to Toilet Paper: Thousands of People Are Switching to Cleaner, Cheaper, and Waste-Free Options. Indian Defence Review. 2026.: URL: https://indiandefencereview.com/toilet-paper-alternatives-bidet-eco-friendly/

7. Amiri A. Denmark Just Switched to Red Streetlights – Solving a Problem Every Modern City Deals With. Indian Defence Review. 2026.: URL: https://indiandefencereview.com/denmark-just-switched-to-red-streetlights-solving-a-problem-every-modern-city-deals-with/

8. Curl M. They’ve Created a Cement-Based Supercapacitor That Could Make Homes Energy Self-Sufficient. Indian Defence Review. 2024.: URL: https://indiandefencereview.com/theyve-created-a-cement-based-supercapacitor-that-could-make-homes-energy-self-sufficient/

9. Comparative life cycle assessment of bamboo-containing and wood-based hygiene tissue: Implications of fiber sourcing and conversion technologies / N. Forfora, R. Ortega, I. Urdaneta та ін. ScienceDirect. 2025.: URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789425000832

10. Диченко О. Ю., Ласло О. О. Досвід провідних країн у сфері поводження з відходами. Сучасний рух науки : тези доп. XII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Дніпро, 1–2 квітня 2021 р.). Дніпро, 2021. С. 431–433. URL: https://www.researchgate.net/profile/Nino-Kavtaradze/publication/353014198

УДК 504.5:631.4:546.3

АДАПТАЦІЯ ЗМІСТУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ЗАКЛАДАХ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ ДО ВИКЛИКІВ ЕКОЦИДУ

***Кривицька І.А.**, канд.біол.наук, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна м. Харків, Україна*
***Дяченко Л.Б.**, Харківський фаховий коледж технологій та дизайну, м. Харків, Україна*

Повномасштабна військова агресія проти України спричинила не лише гуманітарну катастрофу, а й масштабний екоцид, наслідки якого відчуватимуться десятиліттями. Забруднення ґрунтів важкими металами, руйнування екосистем, мінування територій та критичне пошкодження об'єктів промислової інфраструктури ставлять перед системою освіти нові, стратегічні завдання. В умовах воєнного стану екологічна освіта перестає бути лише теоретичним вивченням природних процесів; вона вона набуває функцій стратегічного інструменту забезпечення екологічної безпеки та відновленняння.

Особливе місце в цьому процесі посідають заклади фахової передвищої освіти (коледжі). Саме вони готують практикоорієнтованих спеціалістів, які вже завтра безпосередньо працюватимуть у промисловості, сільському господарстві та енергетиці – секторах, що найбільше потребують впровадження екологічно безпечних технологій та кризового менеджменту.

Актуальною проблемою є невідповідність традиційного змісту екологічної підготовки у закладах фахової передвищої освіти сучасним викликам, зумовленим воєнним впливом на довкілля. Існуючі освітні програми переважно орієнтовані на класичні підходи до вивчення природних процесів і недостатньо враховують специфіку воєнно-обумовлених екологічних ризиків. У зв’язку з цим виникає потреба у комплексній адаптації змісту навчання, що передбачає інтеграцію питань радіаційної, хімічної та біологічної безпеки, методів оцінки екологічних збитків, а також концепцій сталого та «зеленого» відновлення (Build Back Better).

Особливої актуальності зазначена проблема набуває для прифронтових регіонів України, зокрема міста Харкова, яке зазнає систематичних обстрілів і характеризується високою концентрацією промислових об’єктів. Ураження підприємств, енергетичної інфраструктури та житлових масивів призводить до регулярних викидів небезпечних речовин у навколишнє середовище, транскордонного перенесення забруднень, а також накопичення значних обсягів відходів руйнації, що створює додаткове екологічне навантаження.

Метою дослідження є аналіз змін у змісті екологічної освіти закладів фахової передвищої освіти в умовах воєнного стану та обґрунтування ефективних практикоорієнтованих підходів до формування екологічної компетентності майбутніх фахівців у контексті подолання наслідків війни.

Сучасна екологічна освіта у закладах фахової передвищої освіти повинна оперативно реагувати на нові виклики, що вимагає не лише часткового оновлення навчальних програм, а їх глибокої структурної модернізації. Доцільним є впровадження обов'язкового безпекового компонента, а також розширення змісту екологічних дисциплін шляхом включення спеціалізованих модулів.

Зокрема, до структури освітніх програм можуть бути інтегровані такі тематичні блоки: «Хімічна, біологічна та радіаційна безпека», що передбачає вивчення алгоритмів дій у разі аварійних ситуацій на промислових об'єктах; «Воєнна екологія», у межах якої розглядаються питання екологічних наслідків бойових дій, зокрема забруднення територій та методи їх дезактивації; «Оперативний екологічний моніторинг», який орієнтований на формування навичок роботи з цифровими платформами, геоінформаційними системами та сенсорними технологіями для оцінки стану довкілля в режимі реального часу.

Важливою складовою трансформації є формування нових професійних компетентностей, спрямованих на здатність діяти в умовах підвищеного ризику та невизначеності. Пріоритетним є розвиток навичок оцінки екологічних збитків, що включає опанування методиками розрахунку шкоди, завданої атмосферному повітрю, ґрунтовому покриву та водним ресурсам. Окремої уваги потребує підготовка у сфері управління відходами руйнації, яка передбачає формування практичних умінь щодо сортування, переробки та повторного використання будівельних матеріалів.

Практична підготовка здобувачів освіти повинна реалізовуватися через застосування активних методів навчання, зокрема симуляційних вправ, що моделюють ліквідацію наслідків техногенних аварій; відпрацювання алгоритмів безпеки під час роботи в умовах потенційного забруднення; а також тренінгів із командної взаємодії, спрямованих на координацію дій між різними службами під час надзвичайних ситуацій.

Ефективним інструментом підготовки фахівців є впровадження проєктного підходу, який дозволяє інтегрувати освітній процес із вирішенням реальних екологічних проблем територіальних громад. У межах такого підходу студенти можуть залучатися до розробки проєктів із переробки відходів руйнації, зокрема будівельного сміття; створення планів відновлення порушених екосистем; а також участі у формуванні систем громадського екологічного моніторингу, включаючи розробку цифрових карт забруднення водних об'єктів.

Суттєвим напрямом модернізації змісту освіти є впровадження концепції «зеленої відбудови» (Build Back Better), яка орієнтує освітній процес на формування здатності до відновлення інфраструктури з урахуванням принципів сталого розвитку. У цьому контексті важливим є вивчення технологій альтернативної енергетики, енергоефективності, а також інтеграція підходів сталого міського планування у курсові та дипломні проєкти студентів.

Практикоорієнтованість навчання може бути підсилена через трансформацію традиційних навчальних завдань. Наприклад, лабораторні роботи з аналізу ґрунтів доцільно адаптувати до дослідження впливу залишків боєприпасів та продуктів їх

деградації на родючість ґрунтового покриву, що дозволяє поєднати теоретичні знання із реальними екологічними викликами.

Важливим компонентом освітнього процесу є також екологічне волонтерство, яке виконує не лише практичну, але й соціально-психологічну функцію. Участь студентів у заходах з відновлення зелених насаджень, прибирання територій, а також проведення просвітницької роботи серед населення сприяє формуванню відповідального ставлення до довкілля та розвитку громадянської активності. Окрім того, така діяльність сприяє формуванню екологічної стійкості (resilience), що проявляється у здатності адаптуватися до складних умов та знаходити шляхи сталого розвитку навіть у кризових ситуаціях.

Важливим аспектом адаптації змісту екологічної підготовки є також удосконалення методичного забезпечення освітнього процесу. Зокрема, доцільним є розроблення навчально-методичних матеріалів, орієнтованих на аналіз реальних кейсів екологічних наслідків воєнних дій, використання міждисциплінарного підходу та інтеграцію цифрових інструментів навчання. Використання геоінформаційних систем, відкритих екологічних баз даних, супутникових знімків і платформ громадського моніторингу дозволяє суттєво підвищити рівень практичної підготовки здобувачів освіти та сформувати у них навички роботи з актуальними джерелами екологічної інформації.

Крім того, ефективність оновлення змісту екологічної освіти значною мірою залежить від рівня підготовки педагогічних працівників. У зв’язку з цим актуалізується необхідність підвищення кваліфікації викладачів шляхом участі у спеціалізованих тренінгах, стажуваннях, а також залучення до міжнародних освітніх та наукових проєктів, присвячених питанням екологічної безпеки та повоєнного відновлення. Такий підхід сприятиме впровадженню сучасних освітніх практик та забезпечить відповідність підготовки фахівців актуальним викликам.

Отже, військовий екоцид в Україні зумовлює необхідність системної трансформації екологічної освіти у закладах фахової передвищої освіти. Ефективна підготовка фахівців можлива за умови переходу від переважно теоретичних моделей навчання до практикоорієнтованих підходів, що враховують специфіку воєнно-обумовлених екологічних ризиків.

Для закладів освіти прифронтових регіонів пріоритетним є впровадження навчальних модулів із техногенної безпеки, кризового менеджменту та оперативного екологічного моніторингу. Водночас важливим є поєднання освітньої діяльності із практичним вирішенням екологічних проблем територіальних громад через проєктну діяльність студентів.

Таким чином, заклади фахової передвищої освіти відіграють ключову роль у підготовці нової генерації фахівців, здатних не лише мінімізувати екологічні наслідки війни, але й забезпечувати впровадження інноваційних підходів до сталого розвитку у процесі повоєнного відновлення України.

УДК 378.015.31:159.9:502/504

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПСИХОЛОГІЇ У ПДАУ

***Антонець М.О.**, кандидат психологічних наук, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна*

Жорстока окупаційна війна, що триває більше чотирьох років, впливає як на довкілля, так і на психологічний стан мешканців України. У таких складних умовах якість освіти може забезпечуватися новітніми педагогічними технологіями та особливим способом життя. Він є сукупністю стійких форм організації соціокультурного життя людей. У психологічному плані спосіб життя є набором цінностей і норм, що детермінують поширення і передачу від покоління до покоління визначених моделей поведінки. За Р. Гарборгом, «благословіння, як спосіб життя» [4], пропонується плекати в особистому просторі здобувачів вищої освіти.

В української студентської молоді викладачі формують особливий культурний простір. Ю. Швалб стверджує, що «це місце докладання зусиль людини, спрямованих на осмислену й цільову зміну умов власного існування. Іншими словами, простір життя є базовим психологічним конструктом визначення структури Миру, що будується суб'єктом виходячи із самовизначення свого місця у цьому Світі» [8]. У сучасних здобувачів вищої освіти (ЗВО) під впливом військового стану виникає новий спосіб життя, що відрізняється від способу життя ЗВО в інших країнах світу і виявляється у становленні особливої екологічної свідомості.

А. Льовочкіна визначає екологічну свідомість як «вищий рівень психічного відображення природного, штучного, соціального середовища та свого внутрішнього світу. Це рефлексія місця та ролі людини в екологічному світі, а також саморегуляція даного відображення» [5]. Аналіз екологічної свідомості дає можливість зрозуміти, як людина сприймає оточуюче середовище, ставиться до нього і яку поведінку у довкіллі виявляє.

Актуальність проблеми полягає у необхідності розробки тренінгових програм, проведенні інтерактивних ігор і створенні моделей соціокультурного розвитку, що дадуть можливість здобувачам вищої освіти перетворювати довкілля в умовах воєнного та повоєнного часу. Тому викладання екологічної психології (ЕП), як вибіркової навчальної дисципліни у Полтавському державному аграрному університеті (ПДАУ), висуває особливі вимоги до запланованих результатів навчання.

Метою викладання ЕП є вияв особливостей сприймання людиною оточуючого середовища та пошук актуальних чинників розвитку особистості і довкілля. Метою дослідження було показати оригінальність тренінгів, моделей соціокультурного розвитку, а також важливість проведення гри «Горіхи" у викладанні ЕП у ПДАУ. У дослідженні використовувався метод включеного спостереження, формуючого експерименту і метод інтерв'ю.

Авторка тез майже два роки тому проходила стажування у Лестерському університеті Об'єднаного королівства Великої Британії і Північної Ірландії. Вона

проводила дослідження і презентувала постер. «Актуальність цього дослідження полягала у використанні інтерв'ю як методу усного опитування віч-на-віч» [9]. Як зазначають В. Моргун та І. Тітов, «…інтерв'ю є основним засобом збору первинної інформації з метою з'ясування взаємозв'язків досліджуваних процесів та змінних» [7]. По закінченню курсу екологічної психології у квітні 2026 року серед студентів було проведено інтерв'ю, що включало три питання. Перше: «Що дало Вам загалом вивчення екологічної психології?» Друге питання: «Яка тема з навчальної програми найбільше запам'яталася?» Третє питання: «Який тренінг найбільше сподобався і чим?» Відповіді були змістовні, позитивні і виявляли глибоку рефлексію щодо сприйняття цієї вибіркової дисципліни.

У процесі вивчення ЕП для ЗВО проводилися тренінги, на які є свідоцтво на авторське право: «Духовні основи екологічного мислення», «Антропологічне садівництво», «Моя екосистема», «Твій культурний капітал», «Цінуй життя», «Мої слова» [3]. Ці тренінги «сприяють відновленню духовних та психічних складових особистості» [10].

Метою тренінгу «Духовні основи екологічного мислення» є формування у здобувачів вищої освіти слушного світогляду. Екологічне мислення – це поняття, судження і умовиводи про довкілля, про свій внутрішній світ, про сенс життя. У ЗВО необхідно формувати найкращий тип стосунків людини та довкілля – екоорієнтований теоцентризм. Це стосунки, у центрі яких є Бог, Який створив цей світ. Господь хоче, щоби люди звільнилися від гріха, йшли за Ним і змінювали оточення на краще. На основі екоорієнтованого теоцентризму впроваджено тренінг «Антропологічне садівництво». Програма проводиться разом з артшоу, що виконує художниця. Ідея тренінгу: «Господь – це садівник в Едемі». «Тож сказав Бог: «Сотворімо людину на Наш образ і на Нашу подобу» [1, 1М.1:26]. Тому людина є Божим садівником, а не рабом чи паном на Землі. Людство спотворило планету протягом свого існування, хоча у Святому Письмі записано: «Землю Господь віддав синам людським!» [1, Пс.115:16]. Мета тренінгу «Моя екосистема» – це вияв можливостей створення успішного оточення. Метою тренінгу «Твій культурний капітал» є навчитися створювати власний культурний капітал, заснований на духовних та інтелектуальних цінностях свого народу. Метою програми «Цінуй життя» є формування слушного ставлення молоді до власного життя та отримання знань щодо проблеми ВІЛ/СНІДу в Україні. «Мета тренінгу «Мої слова» – навчитися слідкувати за всім, що ми говоримо і намагатися не вживати лайливих слів» [2].

Щодо інтерактивних ігор, то американським та японським студентам було запропоновано гру «Гайки». Результат гри був невтішний. Як правило, гравці, хапаючи свою частину, збивали тацю на підлогу. Аналогом цієї гри в Україні є гра «Горіхи». Завдяки проведенню гри "Горіхи" на занятті у ПДАУ, було виявлено міру протиставлення індивідуальних інтересів груповому благополуччю. Спостерігалася цікава реакція студентів щодо вирішення проблеми. Спочатку вони сиділи мовчки, а потім кожен взяв рівну частину від загальної кількості горіхів собі. Принцип, що вони

застосували, записаний у Біблії: „Нехай кожен дбає не про своє, але кожен і про інших” [1, Фил.2:4]. І це надихало і дало позитивний імпульс викладачеві.

Особливістю викладання ЕП у ПДАУ є залучення ЗВО у створення моделей соціокультурного розвитку. Такі моделі впливають на формування нового способу життя. Однією з таких моделей був фестиваль квітів, що відбувся 22 травня 2019 року. Також іншою моделлю був захід «Магнолія. 50-та весна». Це дійство пройшло у ракурсі української сецесії 16 квітня 2026 року. Як зауважує А. Матусяк, «головним ідейним посланням сецесії є панестетизм, тобто намагання і прагнення до формування навколишнього світу людини згідно з принципами естетики» [6]. Тому гаслом заходу було: «Усе Він створив гарним у свій час: цвісти попри все – сила України». Захід присвячений пам’яті героїв, хто віддав своє життя за свободу і незалежність України. У форматі дійства проходила виставка-конкурс картин на тему «Магнолія». Також програма заходу передбачала прем’єру вистави-феєрії «Магнолія», в якій 50-річне дерево на території ПДАУ було безпосереднім учасником і символом краси, життєстійкості та нового початку.

Література

1. Святе Письмо Старого та Нового Завіту / переклад Отця Івана Хоменка. Жовква: Вид-во Отців Василіян «Місіонер», 2022. 1470 с.
2. Антонець М.О. Тренінг «Мої слова». *Слово вчителю.* 2013. № 2. С.14-15.
3. Антонець М.О, Антонець О.А., Баньковська І.Б., Самородов В.М. Дидактичні принципи у викладанні ботаніки, лікарських рослин та екологічної психології у ПДАУ. *«Етноботанічні традиції в агрономії, фармації та садовому дизайні: наукові читання Івана Косенка*»: Матеріали IX міжнародної наукової конференції, присвяченої 230-річчю від дня заснування «Софіївки». (7-11 квітня 2026 р., м. Умань). Умань: Видавець «Сочінський М.М.», 2026. С.9-15.
4. Гарборг Р. Покликані благословляти. Олександрія: Ездра, 2009. 144 с.
5. Льовочкіна А. М. Основи екологічної психології. Київ:МАУП, 2004.136 с.
6. Матусяк А. У колі української сецесії. Львів: ЛА «Піраміда», 2016. 404 с.
7. Моргун В. Ф., Тітов І. Г. Основи психологічної діагностики. Київ: Видавничий дім «Слово», 2013. 464 с.
8. Соціально-психологічні засади становлення екологічно орієнтованого способу життя особистості: монографія / Ю.М. Швалб, О.Л. Вернік, О.О. Вовчик - Блакитна, О.В. Рудоміно - Дусятська [та ін.]; за ред. Ю.М. Швалба. Київ: Педагогічна думка, 2015. 216 с.
9. Antonets M.O., Mykhailenko H.G. Specific techniques for personal resource development in wartime: insights from EMI program interview research. *«Психологія і соціальна робота у XXI столітті»*: матеріали II Міжнародного науково-практичного форуму (20-22 листопада 2024 року, Полтава). Полтава: ПНПУ імені В. Короленка, 2024, 31-35.
10. Hanhur Volodymyr, Antonets Maryna, Antonets Oleksandr. Peculiarities of teaching elective disciplines at the department of plant growing. *«Інноваційні підходи в освіті: інтеграція технологій, науки та практики у підготовці фахівців»*: Матеріали 57-ї науково-методичної конференції викладачів і аспірантів (25-26 лютого 2026 року, Полтава). Полтава: ПДАУ, 2026. С.14-15.

УДК 504.06:628.4

ЕКОЛОГІЧНИЙ ПРОЄКТ “ЧИСТЕ СЕЛИЩЕ – ЧИСТА УКРАЇНА – ЧИСТА ПЛАНЕТА”

***Вялий Костянтин**, Комунальний заклад «Слобожанський ліцей» Кегичівської селищної ради, Берестинський район, Харківська область, Україна*

Об’єкт дослідження: процес утворення, накопичення та утилізації відпрацьованих гальванічних елементів.

Предмет дослідження: вплив відпрацьованих гальванічних елементів на довкілля та можливі способи мінімізації їхнього шкідливого ефекту.

Метою роботи є дослідження екологічного впливу відпрацьованих гальванічних елементів на навколишнє середовище, визначення шляхів зменшення їхнього негативного впливу, а також формування екологічної свідомості серед школярів через освітньо-дослідницьку діяльність.

Актуальність проєкту зумовлена необхідністю вивчення впливу відпрацьованих гальванічних елементів на стан навколишнього середовища та пошуку ефективних шляхів мінімізації або повної ліквідації їхнього шкідливого впливу. Особливу увагу приділено формуванню екологічної свідомості учнівської молоді, а також налагодженню співпраці з організаціями, що здійснюють збір, сортування та утилізацію використаних батарейок. Реалізація цього проєкту сприяє глибшому розумінню взаємозв’язку між діяльністю людини та екологічним станом планети, а також формує усвідомлення особистої відповідальності кожного за збереження природного середовища.

Наукова новизна та особистий внесок. У рамках дослідження запропоновано власну модель шкільної системи збору відпрацьованих батарейок, спрямовану на підвищення рівня екологічної обізнаності учнів. Розроблено рекомендації щодо проведення просвітницьких заходів екологічного спрямування. Відмінність отриманих результатів полягає у поєднанні теоретичних знань з практичною діяльністю та залученні школярів до безпосередньої участі в екологічних ініціативах.

Методи дослідження: аналітичний (аналіз наукових джерел та нормативних документів); емпіричний (спостереження за процесом збору й утилізації батарейок у навчальному закладі); порівняльний (зіставлення різних методів утилізації та перероблення); статистичний (оброблення результатів опитувань і спостережень); педагогічний експеримент (формування екологічної культури школярів).

Результати експерименту підтвердили, що природа чутливо реагує на людську діяльність. Забруднення ґрунту та води токсичними речовинами з гальванічних елементів призводить до погіршення стану рослин і зниження біологічної продуктивності екосистем. Водночас своєчасні заходи щодо охорони довкілля сприяють відновленню природних процесів і підтриманню екологічної рівноваги. Таким чином, екологічна свідомість і відповідальне ставлення кожної

людини є основою збереження життя на планеті. Турбота про чистоту навколишнього середовища сьогодні – це запорука безпечного та гармонійного майбутнього для наступних поколінь. Отже, правильне поводження з побутовими відходами, зокрема батарейками, – це не лише екологічний обов’язок, а й прояв громадянської зрілості. Здай батарейку – збережи природу, здоров’я та майбутнє планети.

Електронне навчальне видання комбінованого використання

Можна використовувати в локальному та мережному режимі

ECOLOGY & RECOVERY 2026

XXVIII Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2026»

ЗБІРКА ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

23–24 квітня 2026 року, м. Харків, Україна

(*Українською та англійською мовами*)

Текст подається в авторській редакції

Підписано до розміщення 25.05.2026. Формат 60x84/16.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. 11,03. Зам. № 282/26.

Системні вимоги:
Процесор Pentium- класу; ОС Windows 7/10. Acrobat Reader 10.
Об’єм даних 4,8 МБ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3367 від 13.01.2009