

СТАЛИЙ РОЗВИТОК:

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ. ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

IX Міжнародний конгрес
7-8 жовтня 2026, Україна, Львів

Збірник матеріалів



СТАЛИЙ РОЗВИТОК: ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ. ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.

IX МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС
07-09 жовтня 2026, Україна, Львів

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

Київ
ГО «МНГ»
2026

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Західний науковий центр НАН України і МОН України
Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги

СТАЛИЙ РОЗВИТОК: ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ. ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.

IX МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС
07-09 жовтня 2026, Україна, Львів

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

Київ
ГО «МНГ»
2026

УДК 591.663
С 76
DOI https://doi.org/10.56287/8285-28-9

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Західний науковий центр НАН України і МОН України
Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги

С 76 **Сталий** розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. IX Міжнародний конгрес, 7-8 жовтня 2026, Україна, Львів : зб. матер. / НУ «Львів-ка. політ-ка» — Електрон. дан. — Київ : ГО «МНГ», 2026. — 405 с.: рис., табл. — on-line.

ISBN 978-617-8285-28-9 (on-line)

Збірник матеріалів відображає наукові дослідження авторів у сфері: екології, екологічної та цивільної безпеки, туризму, підприємництва та біржової діяльності. Всі матеріали подано в авторській редакції. Матеріали подано в авторській редакції. Відповідальність за точність поданих фактів, цитат, цифр і прізвищ несуть автори.

УДК: 591.663

© Авторський колектив, 2026
© НУ «Львівська політехніка», 2026
© ГО «МНГ», 2026

ISBN 978-617-8285-28-9 (on-line)

НАУКОВО-ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Мальований Мирослав
Жук Володимир
Тимчук Іван
Бєлоконь Каріна
Боголюбов Володимир
Варчол Йоланта
Вішньовська Ева
Внукова Наталія
Волошкіна Олена
Голік Юрій
Гонца Марія
Гумницький Ярослав
Дячок Василь
Зеленько Юлія
Зинюк Олег
Ковальська Беата
Ковальський Даріуш
Корда Володимир
Крилув Малґожата
Крусір Галина
Лутек Войцех
Мандрик Олег
Масікевич Юрій
Нагурський Олег
Нгуєн Куанг Трі
Петрук Василь
Петрушка Ігор
Пляцук Леонід
Подоляк Агнешка
Попенда Агнешка
Рильський Олександр
Сафранов Тимур
Теребух Андрій
Тимочко Тетяна
Ткаченко Тетяна
Хирівський Петро
Чугай Ангеліна
Шмандій Володимир
Юзвяковскі Криштоф
Юрченко Валентина

ОРГКОМІТЕТ

Голова:
Мальований Мирослав

Заступники голови:
Попович Олена
Тимчук Іван

Члени оргкомітету:
Вронська Наталія
Слюсар Віра
Мараховська Анастасія
Кварціян Оксана

ЗМІСТ

стор.

СЕМІНАР 1 «ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ, ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ, МОНІТОРИНГ, АУДИТ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ»

1. **БОЙЦУН А.А., ЧУБАНЬ В.С.**
ЕКОЦИД ЯК ЗЛОЧИН ПРОТИ ЛЮДСТВА ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА: УКРАЇНСЬКИЙ ПРЕЦЕДЕНТ…..……... 24

2. **КУЗНЄЦОВ П.М., БЄДУНКОВА О.О., ЦЬОСЬ О.О.**
ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ФОРМ ОРГАНІЧНОГО ТА НЕОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ У ВОДІ ОЗЕР УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ… 25

3. **CHUBAR N.**
BIOSORPTION AND BIOMINERALIZATION OF AQUEOUS Mn(II) CATIONS BY VIABLE SHEWANELLA PUTREFACIENS: POTENTIAL FOR BIOREMEDIATION……... 26

4. **КОЗЛОВ В., ШАРИЙ Г.**
АВТОМАТИЗОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВИБУХОВИХ ВОРОНОК НА ОСНОВІ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ТА ГІС ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ МІЛІТАРИЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ…….. 27

5. **РАЗАНОВ С.Ф., БАЛЬКОВСЬКИЙ В.В.**
НАКОПИЧЕННЯ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ТКАНИНАХ СТАВКОВОЇ РИБИ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ……. 29

6. **СКРИПЧУК П.М., СКРИПЧУК М.П., ЛОГВИН С.Ю.**
ПРОЄКТНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ КООПЕРАЦІЇ І КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В АГРОБІЗНЕСІ……. 30

7. **WIŚNIOWSKA E.**
EFFLUENTS FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS AN ALTERNTAIVE WATER RESOURCE UNDER CLIMATE CHANGES: EMERGING CONTAMINANTS AND ENVIRONMENTAL RISKS…….. 32

8. **СІМ'ЯЧКО О.І.**
ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ УПАКОВКИ В УКРАЇНІ……... 34

9. **ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В., ЗЕЛІНСЬКИЙ Д.В.**
ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ВИКИДІВ У АТМОСФЕРУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІННИЦЬКОГО РЕГІОНУ……. 36

10. **ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В.**
ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ НА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ ВІННИЧЧИНИ…….. 38

11. **ТЕРЕНДІЙ Я.В., ЖУКОВА О.Г.**
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ ОЗЕР НА ТЕРИТОРІЇ УРБОЕКОСИСТЕМ…… 40

12. **ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В., ЗЕЛІНСЬКИЙ Д.В.**
ВПЛИВ АЕРОЗОЛЬНИХ ВИКИДІВ ДВЗ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ…… 42

13. **МАЦ А.Д., МІТРЯСОВА О.П.**
ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ БУЗЬКОГО ЛИМАНУ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ ІНДЕКСАМИ У GOOGLE EARTH ENGINE…….. 44

14. **HALAK S., BEZVERKHA A., SEMASHKO P., GOTS O.**
SPATIAL DISTRIBUTION OF ROAD TRAFFIC NOISE IN CITIES: IMPLICATIONS FOR URBAN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT…… 45

15. **МАГАСЬ Н.І.**
СЕЗОННЕ СКОРОЧЕННЯ ВІДКРИТОЇ ВОДИ ТА ЗМІНА ОПТИЧНОГО СТАНУ ОЗЕРА СОЛОНЕЦЬ-ТУЗЛИ…….. 47

16. **МАГАСЬ Н.І.**
ГІДРОЛОГІЧНІ ЗМІНИ І ПРОСТОРОВА УЗГОДЖЕНІСТЬ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ РЕКРЕАЦІЙНИХ ВОД МИКОЛАЄВА……. 49

17. **ХЛОБИСТОВ Є.В.**
ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ СКОРОЧЕННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЛЯ ПОСТРАЖДАЛИХ ВІД ВІЙНИ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ……. 51

18. **МАСІКЕВИЧ Ю.Г.**
ЯКІСТЬ ПОВЕХНЕВИХ ВОД В ЯКОСТІ ПЕРЕДУМОВИ ПОПУЛЯЦІЙНОГО ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ……. 53

19. **KRYVOSHEIN O., KRYVOBOK O.**
SATELLITE OBSERVATIONS FOR OPERATIONAL WILDFIRE MONITORING IN ENVIRONMENTALLY SENSITIVE AREAS OF UKRAINE…….. 54

20. **МИКИЦЕЙ М.Т.**
ПРОЦЕДУРА ВИЗНАЧЕННЯ НАФТОВИХ ВУГЛЕВОДНІВ У ЕКОСИСТЕМАХ МІКРОВОДОЗБОРІВ: ВАЛІДАЦІЯ ТА ЗЕЛЕНІ ІНДЕКСИ FTIR-АНАЛІЗУ…….. 55

21. **МИКИЦЕЙ М.Т.**
МЕТОДИЧНІ ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ МІГРАЦІЇ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ҐРУНТОВО-ВОДНИХ СИСТЕМАХ……... 56

22. **КОБРИН М., ЛЮТА О.**
АНАЛІЗ ГЛОБАЛЬНОГО ДОСВІДУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД МІКРОПЛАСТИКОМ В УКРАЇНІ……... 58

23. **ДЯЧУК Б.В., КОВРОВ О.С.**
ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗ ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ЗА АГРОКЛІМАТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ТА ВЕГЕТАЦІЙНИМИ ІНДЕКСАМИ…… 60

24. **ЦАРИК Л.П., ЦАРИК П.Л., ЦАРИК В.Л.**
ОКУЛЬТУРЕНІ ПРИМІСЬКІ ДЖЕРЕЛА М. ТЕРНОПОЛЯ ЯК СКЛАДОВА ЕКОБЕЗПЕЧНОГО ВОДОСПОЖИВАННЯ……... 62

25. **ПЕТРУШКА І.М., ГІРНЯК М.А., ЯРЕМКО В.Б.**
ОЦІНКА ВПЛИВУ СТИХІЙНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ДОВКІЛЛЯ…….. 64

26. **МАНДРИК О.М., ТУЦЬ О.М., ХОВАНЕЦЬ М.Т., ЛИПЧУК М.В., МАЛАНЮК І.І.**
ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ…….. 66

27. **БАЛКО О.Б., БАЛКО О.І., АВДЄЄВА Л.В.**
СТРАТЕГІЯ ВИЖИВАННЯ ВИДІЛЕНИХ ІЗ РОСЛИН ФІТОПАТОГЕННИХ БАКТЕРІЙ PSEUDOMONAS AERUGINOSA ЗА ДОПОМОГОЮ БІОПЛІВКОУТВОРЕННЯ…… 67

28. **СТЕЦЮК Л.М., КЕДРУН В.О.**
СЕЗОННА ДИНАМІКА ЯКОСТІ ВОДИ ОЗЕРА БАСІВ КУТ І ПЕРСПЕКТИВА БІОІНДИКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ CHLORELLA VULGARIS…….. 69

29. **ВЕНГЕР Л.О., БЄЛОКОНЬ К.В., ВЕНГЕР Я.А., АДАНІК О.О.**
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПОТРАПЛЯННЯ НАФТОПРОДУКТІВ У ҐРУНТИ ТА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ РУЙНУВАНЬ…….. 71

30. **ПОКШЕВНИЦЬКИЙ А.С.**
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОРФОВИХ ПОКЛАДІВ ЯК ІНДИКАТОРИ ІНТЕНСИВНОСТІ ГЕОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОМИСЛОВОМУ ВИДОБУТКУ…….. 73

31. **МАХНЯК А.Я.**
АДАПТАЦІЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ……. 75

32. **ДУБЛЯК А.В., РІЗНИЧУК Н.І.**
ПОПУЛЯЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ АДАПТАЦІЙНИХ РЕАКЦІЙ ARNICA MONTANA L. В УМОВАХ EX SITU…….. 76

33. **ПАРАХНЕНКО В.Г.**
БІОІНДИКАЦІЙНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА НОВОАРХАНГЕЛЬСЬКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ……. 78

34. **ШАРИЙ Г.І., ТКАЧЕНКО І.В., ШАРА С.Ю.**
РЕВІТАЛІЗАЦІЯ ВОДОСХОВИЩ ШЛЯХОМ РЕКОНСТРУКЦІЇ: ПРИНЦИПИ ТА ПРИЙОМИ…… 79

35. **ГЕЛЕВЕРА О.**
ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛАНДШАФТІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ УКРАЇНИ ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КЛІМАТУ……... 81

36. **НИКОНЮК Є.С., ОДНОРІГ З.С.**
ДЕРЖАВНИЙ КОНТРОЛЬ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ, ЗВІТНОСТІ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ…… 83

37. **БУДНІК С.В.**
ВОДНА КРИЗА, ВИМОГИ ЄС ТА ВІДНОВЛЕННЯ СТАНУ ВОДНИХ ОБ’ЄКТІВ…… 84

38. **СОРОКІНА К.Б.** ФАКТОРИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ВОЄННО-ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ…… 85

39. **ЛЯШОВСЬКИЙ А.І., ПЕТРУШКА І.М.**
ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВІД ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ: АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ…… 87

40. **БУТЕНКО Е.О.**
ЗАХИСТ ВОДНИХ ОБ’ЄКТІВ ВІД ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЗА ДОПОМОГОЮ СИНТЕТИЧНИХ АНІОННИХ ГЛИН РІЗНОГО СКЛАДУ….. 88

41. **ІЛЛЯШ О.Е., ФРОЛОВ В.Ф.**
РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ ПОКАЗНИКІВ ТА УМОВ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ПІСЛЯПРОЕКТНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ……... 90

42. **МЕЛЬНИЧЕНКО Г.М., СЕМАК У.Й., ГРИНИШАК В.В.**
ПИЛЕННЯ ТОПОЛІ (POPULUS SPP.) ЯК ЧИННИК АЛЕРГЕННОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІСЬКОЇ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: МІЖРІЧНА МІНЛИВІСТЬ І МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ…….. 92

43. **SEMAK U.**
THREE-LEVEL BIODIVERSITY MONITORING IN AGRICULTURAL LANDSCAPES: FRAMEWORK AND IMPLEMENTATION PROSPECTS FOR UKRAINE……... 94

44. **САБАДАШ О., ЧЕРЕПАНИН Р.**
ПРОГАЛИНИ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІНСЬКИХ МЕХАНІЗМІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ НА ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЯХ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ……... 96

45. **ПОДШИВАЙЛОВА Т.О., РУСИН І.Б.**
ВПЛИВ ВІЙНИ НА ТВАРИННИЙ СВІТ УКРАЇНИ:
ЕКОЛОГО-ЕТИЧНІ АСПЕКТИ……... 97

46. **ОГІЛЬКО С.П.**
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У
ФІТОЦЕНОЗАХ ПРИДОРОЖНІХ ДІЛЯНОК АВТОШЛЯХУ
М-05 КИЇВ–ОДЕСА……... 98

47. **ТОМАШУК І.В.**
ЦИФРОВИЙ МОНІТОРИНГ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ
АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ…. 100

48. **ЧЕНЧАК М.М., МІЛЬОВИЧ С.С.**
ЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ІНДИКАТОРІВ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО
РОЗВИТКУ ДАНИМИ РЕГІОНАЛЬНИХ ДОПОВІДЕЙ ПРО СТАН
ДОВКІЛЛЯ (ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСТЬ)…… 102

49. **ГНАТІВ І.Р.**
ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У
РІЧКОВИХ БАСЕЙНАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ПІД ВПЛИВОМ
КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ…….. 104

50. **ЗАРУБІНА А.В., ГЕЛЕВЕРА О.Ф., СЕМЕНЮК Л.Л.**
ПРИРОДООХОРОННА ЦІННІСТЬ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО
ПАРКУ «ЧОРНИЙ ЛІС» (КІРОВОГРАДСЬКА ОБЛАСТЬ)……. 105

51. **MAJIDLI K.**
ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF SMALL HYDROPOWER
DEVELOPMENT IN KARABAKH AND EASTERN ZANGEZUR…… 106

52. **САБАДАШ В.В.** РЕГІОНАЛЬНЕ ГЕОМОРФОЛОГІЧНЕ
КАРТОГРАФУВАННЯ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ТА ГІС ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНОГО
ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ…… 108

53. **ОПАНОВИЧ Ю.Ю., ФЕДОРИШИН О.М., ОЛІЙНИК Л.П.**
ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОМАТЕРІАЛИ
У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЗАХИСТУ
ДОВКІЛЛЯ…….. 110

54. **РИЛЬСЬКИЙ О.Ф., ДОМБРОВСЬКИЙ К.О., ТЕРТИЧНА О.В.**
БІОРІЗНОМАНІТТЯ УГРУПОВАНЬ ЕПІФІТОНУ МАЛОЇ РІЧКИ МОКРА В
УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ…….. 111

55. **SNIZHKO S., DIDOVETS I., HATTERMANN F., BRONSTERT A.**
CHANGES IN RIVER DISCHARGE IN THE SOUTHWESTERN BLACK SEA
REGION DUE TO CLIMATE CHANGE: PROJECTED SCENARIOS
THROUGH THE END OF THE 21ST CENTURY…… 112

56. **ЗАЛІЗНЯК Я.І.**
СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ
РЕСУРСІВ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ……... 114

57. **КОНОВАЛОВ А.О., ПАВЛЮХ Л.І.**
ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ
АКУМУЛЯТОРІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У СТАЦІОНАРНИХ СИСТЕМАХ
НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ……... 116

58. **МАНДРИК О.М., БАНДУРА А.І., НИКИФОРУК О.І., ЦАРУК Є.**
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМИ ДНІСТРОВСЬКОГО
ВОДОСХОВИЩА…….. 118

59. **РУСИН І.Б.**
ЕКОЛОГІЯ ЛЮДИНИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ:
ТЕМПЕРАТУРНІ, ІНФЕКЦІЙНІ ТА ВОДНІ РИЗИКИ……. 120

60. **НЕЧИПОРУК Т.А., РУСИН І.Б.**
ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НАКОПИЧУВАЧІВ КИСЛИХ ГУДРОНІВ ЛЬВІВЩИНИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ САНАЦІЇ…… 122

61. **ЛІТВАК О.А., ГУРА О.О.**
ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ SENTINEL-2 ТА ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЮ В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПОРТОВИХ АКВАТОРІЙ….. 123

62. **СОКОЛОВА В.І., ВАМБОЛЬ Б.С.**
ВПЛИВ ІММОБІЛІЗОВАНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ НА БІОДЕГРАДАЦІЮ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА…….. 125

63. **RADOMSKA M., CHYZHEVSKA K.**
THE ASSESSMENT OF WARFARE DAMAGE INFLICTED UPON UKRAINE'S ANIMAL WORLD AND BIODIVERSITY……. 126

64. **ТЕРЛЕЦЬКИЙ І.Р., ЧЕРЕПАНИН Р.М.**
ЕКОСИСТЕМНІ ФУНКЦІЇ ТА СТРУКТУРНО-ЕКОЛОГІЧНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ЛІХЕНОБІОТИ ПЕТРОФІТНИХ СТЕПІВ ОПІЛЛЯ В КОНТЕКСТІ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ…… 128

65. **ГОЛЕЦЬ Н.Ю., ШКВІРКО О.М., ТИМЧУК І.С., МАЛЬОВАНИЙ М.С.**
ЕКОЛОГІЧНІ ТА АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ……... 130

66. **МАМЧУР Т.В.**
ЕРГАЗІОФІТ SOLIDAGO CANADENSIS L. НА УМАНЩИНІ…… 131

67. **ГУЛЕВЕЦЬ Д.В., СИНИЛО К.В.**
МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО СКРИНІНГОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗАПАХОВОГО ВПЛИВУ МОЛОЧНО-ТОВАРНИХ ФЕРМ, ПОЄДНАНИХ З БІОГАЗОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ…….. 132

68. **БЄЛОКОНЬ К.В., МАЛЬОВАНИЙ М.С., ВАГІН А.В., ГАЛИЧ А.В.**
ВПЛИВ ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ…….. 134

69. **ПЕРЕБИНОС А.Р.**
ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ПЛАНІВ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ ІЄРАРХІЇ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ…… 136

70. **БУШУЄВ Д.В.**
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В КОНТЕКСТІ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ УРБОСИСТЕМ: ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ…… 138

71. **KRASOVSKYI V., MEZHENSKYJ V., HLUSHCHENKO L., SHKURA T.**
INTRODUCTION OF FRUIT AND MEDICINAL CROPS IN THE LEFT-BANK DNIEPER REGION AS AN ELEMENT OF AGRICULTURAL DIVERSIFICATION UNDER CLIMATE CHANGE…… 140

72. **БАЛАБАК А.В., БАЛАБАК О.О.**
ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ В ОПТИМІЗАЦІЇ УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ…… 141

73. **ШАМРО Н.Р., ЄРГУНЬОВА М.З., ГОРДІЄНКО В.М.**
КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ»…….. 143

74. **VOJTECH F., SLOBODNÍKOVA M., ARPAŠ M., GREŠO Š.**
DECOUPLING ECONOMIC GROWTH FROM ENERGY CONSUMPTION AND EMISSIONS IN EU INDUSTRY A MULTI-SECTOR PANEL ANALYSIS OF 27 COUNTRIES AND 19 MANUFACTURING SECTORS……... 144

75. **ХОМЕНКО О.М., ІВАНОВ М.О.**
АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ……... 145

76. **АНТОНОВ М.Д., МАЛЬОВАНИЙ М.С.**
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ В ЄС ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ…….. 146

77. **ЗЕЛЕНКО К.С., ВОВК А.В., СЕРДЮК Д.Д., ФЕДОНЮК М.А.**
АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЗБОРУ Р.ЧОРНОГУЗКА…… 148

78. **ГРИГА М.Ю.**
МОНІТОРИНГ БІОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДНІПРА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОХІМІЧНИХ ТА СУПУТНИКОВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ……. 149

79. **ГЛАДЧУК М.М., МАРКІВ В.С., ГОРИН О. І., БІЛАНИК І.Б., БОДНАР О.І.**
ЧАСОВА ЗАЛЕЖНІСТЬ ІНФОРМАТИВНОСТІ БІОМАРКЕРІВ DANIO RERIO ЗА ДІЇ МЕТАЛІВ……... 150

80. **РЕШЕТЧЕНКО С.І., ДМІТРІЄВ С.С., ГРЕКОВА Є.Д.**
МОНІТОРИНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ АГРОСИСТЕМ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ТЛІ ВОЄННИХ ДІЙ…….. 152

81. **ДЯЧИНСЬКА О.М.**
ТРАНСПОЗИЦІЯ ВИМОГ УКРАЇНИ ДО МЕТОДИК ОЦІНКИ ҐРУНТІВ ЗА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ СТАНДАРТАМИ: РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ……... 154

82. **МОКРИЙ В.І., ЛИСИК П.М., СКРЕНТОВИЧ О.Р.**
ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ СОЗОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЯВОРІВСЬКОГО НПП……. 156

83. **МАРФУТІН А.Б., НАГУРСЬКИЙ О.А.**
ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ЗА РІВНЕМ РАДОНОВИДІЛЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ…….. 157

84. **МАМЧУР З.І., ДРАЧ Ю.А., РАГУЛІНА М.Є.**
SCORPIDIUM SCORPIOIDES ЯК ІНДИКАТОР ГІДРОЛОГІЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ВОДНО-БОЛОТНИХ ЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ ВОЛИЦЬКОГО ЗАКАЗНИКА, ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСТЬ)……. 158

85. **ВРОНСЬКА Н.Ю., ЛЮТА О.В.**
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО БІОМОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА…….. 159

86. **ЛЮТА О.В., ВРОНСЬКА Н.Ю.**
НОРМУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ЕМІСІЙ ПРОМИСЛОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ…… 161

87. **ЛЮТА О.В., ВРОНСЬКА Н.Ю.**
ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ДОВКІЛЛЯ…… 163

88. **МАЛИЧКОВИЧ Х., ЛЮТА О.**
ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ В УМОВАХ АГРОХІМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ……... 165

89. **DAVYBIDA L., MYKHAILIUK D.**
SATELLITE-BASED MONITORING OF ATMOSPHERIC METHANE OVER URBAN AREAS IN UKRAINE…….. 166

90. **POPENDA A.**
BEYOND CONTAMINATION: NEW APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF SEDIMENTS……. 168

91. **РОМАНОВИЧ Б.М., ТИМЧУК І.С.**
ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ СУБСТРАТІВ НА ОСНОВІ КОМПОСТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ҐРУНТІВ… 169

92. **МАЛЬОВАНИЙ М., ЯНЧУК В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ПЕРЕСИХАННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ……. 170

93. **МАЛЬОВАНИЙ М., БОРДУН І., ПОПОВИЧ О., ОЗИМОК Т., ЖУК В., ТИМЧУК І., НАРОНГІН-ФУДЖІКАВА М.**
ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВІД PFAS ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ МІНІМІЗАЦІЇ…….. 171

94. **ТИМОФЕЕВ В., САВЧУК С., КИХТЕНКО Я., ТАТАРЧУК О.**
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ОКРЕМИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ…… 172

95. **БАЛАБАК О.А.**
КРИТЕРІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО ОПТИМУМУ ТА РИЗИКИ ВИРОЩУВАННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ CORYLUS В УКРАЇНІ…… 173

96. **ЛОПОТИЧ Н.Я.**
ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСФОРМОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ЯЗІВСЬКОГО СІРЧАНОГО РОДОВИЩА…… 174

97. **ІВАНКІВ М.Я., ГЕРМАНОВИЧ О.М., ТУПІСЬ Р.В.**
ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ…… 176

СЕМІНАР 2 «ВІДНОВЛЮВАНІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»

98. **ВОЙНАЛОВИЧ В.О.**
НАТУРНА АПРОБАЦІЯ РЕЖИМУ COLDTRT ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СВЕРДЛОВИННИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ…….. 179

99. **ЛИСАК О.О., МОШНОРІЗ М.М.**
АТМОСФЕРНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ ЯК ВЗАЄМОДОПОВНЮВАЛЬНИЙ РЕСУРС ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ……. 181

100. **ПОПОВИЧ С.П., МАКСИМЮК А.Б., МАЛЬОВАНИЙ М.С, ПОПОВИЧ О.Р.**
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ……. 182

101. **МАКСИМЮК А.Б., ПОПОВИЧ С.П., ПОПОВИЧ О.Р.**
МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В КОНТЕКСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ……... 184

102. **ДЯЧОК В.В., ГУГЛИЧ С.І., ВЕНГЕР Л.О.**
МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ У ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ…….. 185

103. **ОЛІНЕЧЕНКО Ю.О.**
ВНЕСОК У ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЗАКЛАДІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ’Я……. 186

104. **ГРИЦЮК Ю.Я., СНІЖКО С.І., СКРИНИК О.Я.**
ОЦІНЮВАННЯ ВІТРОВИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ WRF ТА CALMET…… 187

105. **ШЕВЧИК-КОСТЮК Л.З., РОМАНЮК О.І., РОМАНЮК Г.В.**
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО, ВИРОЩЕНОГО НА НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ……... 188

106. **КУШНІРУК П.А., ФЕДОНЮК М.А., ФЕДОНЮК В.В.**
ПРИКЛАД ОЦІНКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ У МІСЦЯХ ВСТАНОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ……. 189

107. **УЛАНОВ М.М.**
ПЕРЕВАГИ ВИРОБНИЦТВА НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО АМІАКУ – НОСІЯ ВОДНЮ БІЛЯ ІСНУЮЧИХ БЛОКІВ АЕС В УКРАЇНІ……... 190

108. **МОНЧУК М.І., КШИВЕЦЬКИЙ Б.Я., КІНДЗЕРА Д.П.**
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ В УПРАВЛІННІ ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ: ВИРОБНИЦТВО КОМПОЗИЦІЙНОГО ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ ТА ОСАДІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ……... 191

109. **ВАСИЛІНИЧ Т.М., МАРІЇН Д.В., КРИКЛИВИЙ Р.Д.**
ОЦІНКА МЕТАНОГЕННОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЖОМОВОКИСЛИХ СТІЧНИХ ВОД…….. 192

110. **ЯКИМЕЧКО М.М., КУЧЕРА Я.Й.**
ПЕРСПЕКТИВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА КОНЦЕНТРУВАННЯ CO_2 ДИМОВИХ ГАЗІВ ВАПНЯКОВИХ ПЕЧЕЙ……... 194

111. **VOVK L., BILKOVA E., NOWAK P., HALYCH O.**
ASSESSMENT OF HYDRAULIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HYDROPOWER PLANT OPERATION ON RIVER ECOSYSTEMS……. 196

112. **МАТВІЇВ П.В., ТИМЧУК І.С., СЛЮСАР В.Т., ШКВІРКО О.М.**
РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДИГЕСТАТУ……. 197

113. **ЩУСЬ В.М. ШИЛО С.І.**
ПЕРЕДІНВЕСТИЦІЙНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН…… 198

СЕМІНАР 3 «ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ. ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ВОДИ ТА ЕНЕРГІЇ. ЕКОІНОВАЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ»

114. **ІВАНЧЕНКО А.В, ГРИЦАН Ю.І., АВЕР'ЯНОВ В.С., КУЛЬБАЧКО Ю.Л., СОКОЛ О.Д., БОЦКО Й., ОСТРОГА Р.О.**
ОДЕРЖАННЯ ХІМІЧНО МОДИФІКОВАНОГО СОРБЕНТУ З ВІДХОДІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ……... 201

115. **ТИМЧУК А.Ф.**
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЧОВИН ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ…… 203

116. **СОКОЛОВ А.В., УЛИЦЬКИЙ О.А., Д'ЯЧЕНКО Н.О.**
ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ, ПІСЛЯ АВАРІЙНОГО РОЗЛИВУ……... 204

117. **ЛАРЮШКІН В.О., САКАЛОВА Г.В., БОРДУН І.М.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ БЕНТОНІТУ, ВИКОРИСТАНОГО У ПОСЛІДОВНОМУ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД……. 206

118. **БОЙКО Р.С., САКАЛОВА Г.В., ТИХОЛАЗ А.С.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ БЕНТОНІТІВ ПІСЛЯ СОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД……. 208

119. **СТРУМІНСЬКА О.О., ГЛАДИШ Н.**
МІКРОБІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ І ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА……. 210

120. **ВЕНГЕР Л.О., БЄЛОКОНЬ К.В., ДЯЧОК В.В., МАХАНЬКО Р.О.**
ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ…… 212

121. **ШЕПЕТА К.О., ІЗМОДЕНОВА Т.І., ВАКАЛ В.С.**
МОНІТОРИНГ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМЕРЦІЙНИХ ПОСІВІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОСЛИН ФОСФОРОМ…… 214

122. **TKACHENKO T., HAIDAI O., KAMENSKYH D., PERTKO O., YEVDOKYMENKO V.**
EFFECT OF HEMP AGE ON THE CHARACTERISTICS OF CELLULOSIC MATERIAL…… 215

123. **САМОХІН Є.І., ШЕВЧЕНКО Т.О.**
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД…….. 216

124. **МИКИЦЕЙ М.Т.**
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ РАНЖУВАННЯ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ХІМІЧНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ВОДОЗБОРІВ: МЕТОДОЛОГІЯ MCDA-PAPRIKA……..……. 218

125. **КОВРОВ О.С., ТУР В.М.**
ФІТОБРИКЕТИ З СТАБІЛІЗОВАНИМ БІООСАДОМ СТІЧНИХ ВОД ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОГЕННО ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ……... 219

126. **ZHUKOVA V., SABLII L., KOZAR M.**
RESOURCE AND ENVIRONMENTAL POTENTIAL FOR INTENSIFYING BIOLOGICAL NITROGEN REMOVAL PROCESSES IN WASTEWATER TREATMENT……. 221

127. **МАЛЮШЕВСЬКА А.П., КУСКОВА Н.І.**
ZERO WASTE, NANO GAIN: БЕЗВІДХІДНА ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ НАНОВУГЛЕЦЮ З ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ…….. 223

128. **ДІКАРЕВ К.Б., ПАПІРНИК Р.Б., ЧУМАК Л.О., КОВАЛЬ В.М., СЕЛЕЦЬКИЙ В.В.**
ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОТНОГО БУДІВНИЦТВА НА ОСНОВІ АВТОНОМНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ……... 225

129. **КУЦЕНКО-СКОКОВА А.О., ДАНИЛОВА Т.В., ДІКАРЕВА Л.К., ПАПІРНИК М.Р.**
ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ УЛАШТУВАННЯ МОДУЛЬНИХ ЗЕЛЕНИХ ПОКРІВЕЛЬ……... 227

130. **КОПАНИЦЯ О.Б.**
КОМБІНОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВИХ ПІДПРИЄМСТВ……... 229

131. **МАСЛОВСЬКИЙ К.С., МАКСИМОВА Н.М.**
ЗНИЖЕННЯ НЕОРГАНІЗОВАНИХ ВИКИДІВ ПИЛУ ПРИ ВИДАЧІ КОКСУ……... 231

132. **KRYKHOVETS O., DASHO Y.**
MODIFICATION OF BIODEGRADABLE FILM MATERIALS BASED ON POLYVINYL ALCOHOL AND STARCH: IMPROVING STRENGTH, WATER RESISTANCE AND THERMAL STABILITY……. 232

133. **КОМІСАР Л.С., КОВРОВ О.С.**
ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ МАЙБУТНЬОГО З ЕКОХАБОМ РЕЦИКЛІНГУ……. 234

134. **ЧЕЛЯДИН Л., ХОМИН В., ГРИГОРЧУК Г., ЧЕЛЯДИН В., РУДИЙ В.**
ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ШЛАМІВ ВОДООЧИЩЕННЯ……. 236

135. **СИНИЛО К.В., ГУЛЕВЕЦЬ Д.В., КАРПЕНКО С.В.**
ЗЕЛЕНІ ІНІЦІАТИВИ ДЛЯ РЕГІОНАЛЬНИХ АЕРОПОРТІВ……. 238

136. **КОТОВ М.А., РАЗУМОВА О.В. ВОЛЧУК В.М.**
ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ЛОПАТЕЙ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ……... 240

137. **МІЛЬОВИЧ С.С., ВАРВАРИНЕЦЬ В.М.**
СОРБЦІЯ ФОСФАТ ІОНІВ НА LA-МОДИФІКОВАНОМУ КЛИНОПТИЛОЛІТІ СОКИРНИЦЬКОГО РОДОВИЩА……. 242

138. **НАГУРСЬКИЙ О.А., КАЧАН А.С.**
ГЕОДИНАМІЧНА ТА ГІДРОХІМІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗОНІ ВПЛИВУ ЯВОРІВСЬКОГО ОЗЕРА ТА ХВОСТОСХОВИЩА ГХК «СІРКА»…….. 243

139. **ОДНОРІГ З.С., МАЄЦЬКИЙ М.М., РОМАНЮК Л.М.**
СУЧАСНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ БУРОВОГО ШЛАМУ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА……... 245

140. **ІГНАТОВ А.О., АСКЕРОВ І.К., ШУМОВ А.С., ЛІТВІНОВ Я.М.**
ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗВОРОТНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН…… 246

141. **SANDUL O., GORDIENKO O., RANSKIY A., DIDENKO N., DRZEZDZON J.**
SORPTION REMOVAL OF ZINC IONS FROM RINSE WATER IN THE ZINC PLATING PROCESS USING A MIXED SORBENT……... 248

142. **БРЕДУН В.І., СОКОЛЯНСЬКА А.Д., М'ЯКОТІНА К.О.**
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ……. 249

143. **СТАСЕВИЧ С.П., ШУЛАКОВ О.В.** МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНУ РІЧКИ ДНІСТЕР В СУЧАСНИХ УКРАЇНСЬКИХ РЕАЛІЯХ…… 251

144. **МАЦАК А.О. НЕІСАЛО І.В. МАСЛОВСЬКИЙ К.С.**
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОЧИЩЕННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ……... 253

145. **ЛОМАЗОВ П.К., ПАВЛИЧЕНКО А.В.**
ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ…….. 254

146. **ЗАГОРЯНСЬКИЙ В.Г., НОВОХАТЬКО О.В., МАЗНИЦЬКА О.В., МАЛЬОВАНИЙ М.С.**
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МОЛОКОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ НА ОСНОВІ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ…… 255

147. **ОШИТОК Д., ГАВРИЛЯК В.**
БАГАТОБАР'ЄРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДАЛЕННЯ АКТИВНИХ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ІНГРЕДІЄНТІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД: ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ……... 256

148. **КОТИК С.Я., ВРОНСЬКА Н.Ю.**
ОСНОВНІ ЗАБРУДНЮВАЛЬНІ РЕЧОВИНИ У СТІЧНИХ ВОДАХ ПІДПРИЄМСТВ З ВОЛОЧІННЯ МІДІ……... 258

149. **КОЛЕСНИК В.Є., АМІРОВ М.Г.**
ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЛЮДСЬКИХ ПОМЕШКАННЬ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ З АВАРІЙНИМ ПРИПИНЕННЯМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ…… 259

150. **ГРУБІНКО В.В., КАЛІНІН І.В., ЧВАЛЮК Г.В., КОРНІЄНКО А.Ю.**
АЛЬГОЛОГІЗАЦІЯ ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ХЛОРЕЛОЮ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ БОРОТЬБИ З СИНЬО-ЗЕЛЕНИМИ ВОДОРОСТЯМИ, ЗАПОБІГАННЯ «ЦВІТІННЯ» ТА ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ…….. 261

151. **VED O., VED V.**
A THREE-AXIS CLASSIFICATION OF CATALYTIC CONVERTER MODELS AND THE RESEARCH GAPS IT REVEALS……... 263

152. **MOVCHAN O., DIKAREV K., PETRENKO V.**
LOCAL AND RECYCLED AGGREGATES IN PERMANENT FORMWORK: DEBRIS RETURNED TO THE WALL AND ROCK LEFT IN THE GROUND……... 264

153. **ХОДЄЄВ А.А., ЗАБОЛОТНИЙ О.В.**
РОЗПОДІЛ І РОЗМІР КРАПЕЛЬ ВОДИ У ВОДНО-ПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЯХ ЯК КРИТЕРІЙ ЇХ ДИСПЕРСНОГО СТАНУ……. 266

154. **КРИХОВЕЦЬ О.В., БОРДУН І.М, МАЛЬОВАНИЙ М.С.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДИФУЗІЇ У ГІДРОГЕЛЯХ НА ОСНОВІ ПОЛІВІНІЛОВОГО СПИРТУ ТА КРОХМАЛЮ……... 267

155. **KLIUIEV E., ANTIPOVYCH Ya.**
USE OF RARE-EARTH ELEMENTS FROM SECONDARY MINERAL RAW MATERIALS IN POLYDISPERSE MEDIA FOR RADIATION PROTECTION…… 268

156. **ГОЛУБ Т.С., МОЛЧАНОВ Л.С.**
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІННОВАЦІЙНОГО СПОСОБУ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУРМИ ОСНАЩЕНОЇ СКЛАДЕНИМИ СОПЛАМИ…….. 270

157. **БЛАГОДАРНА Г.І., КОНОНЕНКО Я.І.**
ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУД КАНАЛІЗАЦІЇ……. 271

158. **ГОЛУБЄВ П.А., СЛЮЗАР А.В.**
ВИБІР МЕТОДУ МЕТАНІЗАЦІЇ СО2 БІОГАЗУ…….. 272

159. **ДОВГАЛЮК І.Г., ХАЦЕВИЧ О.М., КУЛИК Г.М., БУРАК А.В.**
ТЕХНОГЕННІ ОБ’ЄКТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ПЕРЕХОДУ ДО ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ: ВИКЛИКИ, РИЗИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ……. 274

160. **ШКВІРКО О.М., ГОЛЕЦЬ Н.Ю., ГУМНИЦЬКИЙ Я.М.**
ЗАСТОСУВАННЯ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЯХ…… 276

161. **ЛАТУША Д.Р., ПЕТРИК Б. В., ШЕВЧЕНКО В.О., КВАТЕРНЮК С.М., ПЕТРУК В.Г., КВАТЕРНЮК А.С.**
МОДЕЛЮВАННЯ АГРОГЕННОЇ ЕВТРОФІКАЦІЇ ПРІСНОВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ…… 277

162. **СИСА В.О.**
ДВОШАРОВА АРХІТЕКТУРА ВБУДОВАНОГО МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ В ПОБУТОВИХ СИСТЕМАХ ФІЛЬТРАЦІЇ…… 279

163. **МОЛЧАНОВ Л.С., ГОЛУБ Т.С.**
ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ…….. 281

164. **МОЛЧАНОВ Л.С., ГОЛУБ Т.С., ЧМИРКОВ А.О.**
АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ МІНІМІЗАЦІЇ НАСТИЛЕУТВОРЕННЯ В МЕТАЛУРГІЙНИХ КОВШАХ….. 282

165. **POLIAKOV V., POLIAKOV Yu.**
ENGINEERING APPLICATIONS OF THE THEORY OF SUBMERGED AERATED BIOFILTRATION……... 283

166. **ГАЛІНСЬКА Т.А., НЕСТЕРЕНКО М.М., ЮШКО М.В.**
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ РЕЦИКЛІНГУ БЕТОННОГО БОЮ У ВИРОБНИЦТВІ БЕТОНІВ…… 285

167. **ЛЯШОК І.О., ПЛАВАН В.П., ВОЛОШИНА І.М., КОЛОМІЄЦЬ В.Г., ФОМІНИХ Р.Г.**
РОЗРОБКА КОМПОЗИТНИХ НАНОВОЛОКНИСТИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДООЧИЩЕННЯ…… 287

168. **KOC-JURCZYK J., PODOLAK A., JURCZYK Ł., JANIK A.**
LONG-TERM ASSESSMENT OF TREATMENT EFFICIENCY AND OPERATIONAL RELIABILITY OF A HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANT SERVING A RURAL AGGLOMERATION…….. 288

169. **ГРИНЕВИЧ А.О., САБЛІЙ Л.А.**
ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ АЕРАЦІЇ НА ВИДАЛЕННЯ АМОНІЙНОГО АЗОТУ БІОПЛІВКОЮ НА ПОЛІМЕРНИХ НОСІЯХ…….. 289

170. **ЖДАНЮК Н.В., ШКАРБАНЬ Р.А.**
ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕРМІЧНОЇ ІММОБІЛІЗАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У КЕРАМІЧНИХ МАТРИЦЯХ……... 291

171. **КАРАЧУН М.С., ТИМЧУК І.С., СЛЮСАР В.Т., ШКВІРКО О.М.**
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗЕЛЕНИХ ВІДХОДІВ ПЕРЕД АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ…….. 292

172. **ЩУСЬ В.М. ШИЛО С.І.**
БЕЗФТОРОВА ГАЗОВА ІЗОЛЯЦІЯ З БІОГЕННИМ CO_2 ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ ТОГ-362…… 293

173. **МАЛЬОВАНИЙ М., СТЕФАНІВСЬКИЙ М.**
ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ДЛЯ КАПСУЛЮВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ…… 295

СЕМІНАР 4 «ОСВІТА ТА ВИХОВАННЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

174. **СЕМЕНЮК О.А., СЕМЕНЮК Л.Л., СЕМЕНЮК А.О.**
ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГРАМОТНОСТІ УЧНІВ У КОНТЕКСТІ ОСВІТИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ…… 297

175. **BERESHKO I., KRUCHYNA V., KLEIEVSKA V.**
APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE TRAINING OF ENVIRONMENTAL PROFESSIONALS…….. 299

176. **МАСІКЕВИЧ А.Ю.**
РОЛЬ ДИСЦИПЛІН МЕДИЧНОГО СПРЯМУВАННЯ В КОНТЕКСТІ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА…… 301

177. **ВІЦЮК А.А.**
ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ МОВНОКОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ ЗАСОБАМИ ТЕКСТІВ МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ТЕМАТИКИ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ…….. 302

178. **ШНІЦЕР М.М., ШНІЦЕР І.О.**
ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ МОЛОДІ ЗАСОБАМИ ГРОМАДЯНСЬКОЇ ОСВІТИ…… 304

179. **ВАСЮТИНСЬКА К.А., ЗАБАРНА Е.М., МЕЛЬНИК С.В., ЛИЗОГУБ А.О., ЧЕРЕДНИЧЕНКО В.А.**
МОДЕЛЬ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМИ «ЗЕЛЕНОГО» УНІВЕРСИТЕТУ: КЕЙС ОДЕСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ…… 306

180. **ТЕРПЕЛИВЕЦЬ С., ЧЕРЕПАНИН Р.**
ІНТЕГРАЦІЯ ГРОМАДЯНСЬКОЇ НАУКИ В ЕКОЛОГО-ОСВІТНЮ ДІЯЛЬНІСТЬ ПРИРОДООХОРОННИХ ІНСТИТУЦІЙ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД…….. 308

181. **БОГАТИРЕНКО В.А., БАРАН М.М., КОРІНЕНКО Б.В., КАМЕНСЬКИХ Д.С., ТКАЧЕНКО Т.В.**
ПЕРЕРОБКА КАРТОНУ ЯК ОСВІТНЯ МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ СВІДОМОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ХІМІЇ……. 309

182. **ХРУТЬБА Ю.С., ЛИСАК Р.С., ГОРІДЬКО Н.М., ХРУТЬБА О.В., БАРУН М.В.**
ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АДАПТИВНОГО ЕКОСИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС В УКРАЇНІ……. 310

183. **СОНЬКО С.П., МАКСИМЕНКО Н.В., ВАСИЛЕНКО О.В., ГУРСЬКИЙ І.М.**
НООСФЕРНІ ЕКОСИСТЕМИ У РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……. 312

184. **ЩУСЬ В.М. ШИЛО С.І.**
SCANDRIS: СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ ТА ПРОФЕСІЙНОГО ВИХОВАННЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……. 314

СЕМІНАР 5 «ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКИЙ СУПРОВІД РОЗРОБЛЕННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ І КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ЕКОІННОВАЦІЙ У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

185. **ПЕТРУШКА К.І.**
УПРАВЛІННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯМ ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОІННОВАЦІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ…….. 317

186. **ВЕРНІГОРОВА Н.В.**
ЛІСОВІ СТЕЖКИ ЯК ПРИРОДНИЙ АКТИВ……... 318

187. **ПОКШЕВНИЦЬКА Т.В.**
УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ ВЛАСНІСТЮ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ЕКОІННОВАЦІЙ…….. 320

188. **РЯБОКОНЬ А.Є.**
МОДЕЛЬ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ EMAS ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОІННОВАЦІЙ…… 322

189. **ШУТЯК С.В.**
ПРОБЛЕМИ ДОТРИМАННЯ КАРПАТСЬКОЇ КОНВЕНЦІЇ: ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗВІТНОСТІ ТА КОМПЛАЄНСУ…….. 324

190. **КОРОЛЬЧУК Л.В.**
ЕКОІННОВАЦІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСКОРДОННИХ РЕГІОНІВ……... 326

191. **ЖИВКО З.Б., СТАДНИК М.Є.**
ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЕКОІННОВАЦІЙ У СИСТЕМІ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ…… 328

192. **АНДРУШКО А.В.**
ОБҐРУНТУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ТА ТЕРМІНІВ ОКУПНОСТІ МАСШТАБНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА РИНКУ ДОПОМІЖНИХ ПОСЛУГ ЕНЕРГЕТИКИ…….. 330

193. **БЕРНАЦЬКА Н.Л., ТИПІЛО І.В., ОЛІЙНИК Л.П., БЕРНАЦЬКИЙ О.В.**
ECO CITY AI - AI-NATIVE ENVIRONMENTAL INTELLIGENCE PLATFORM ЯК ТЕХНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЕКОІННОВАЦІЙ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……. 331

СЕМІНАР 6 «РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ В АСПЕКТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

194. **СМИК І.Є.**
РОЛЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД У РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ…….. 334

195. **ДОВГАЛЮК І.Г., КУЧЕРА Я.Й., ДЕРЖКО О.І.**
ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ СТАЛОГО РОЗВИТКУ КАЛУСЬКОГО ПОСТГІРНИЧОГО РЕГІОНУ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ГЕОПАРКУ…….. 335

196. **ПАРАХНЕНКО В.Г.**
ІНВАЗИВНА ФЛОРА СЕЛИЩА СКАЛІВА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ…… 337

197. **КАЛИН Б.М., КРОПИВКА С.Й.**
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ В ЗОЛОЧІВСЬКОМУ РАЙОНІ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……. 339

198. **KICHURA D., SOBECHKO I.**
ECOTOURISM IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE WESTERN REGIONS OF UKRAINE…….. 341

СЕМІНАР 7 «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА В АСПЕКТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

199. **KRYVOBOK O., KRYVOSHEIN O.**
SATELLITE MONITORING OF CONVECTIVE PHENOMENA FOR CIVIL SAFETY: RDT PRODUCT VALIDATION USING MSG AND GROUND-BASED NETWORK DATA……... 344

200. **РАДЧУК Д.І., ЖИР Є.С., ІКОННІКОВ М.Ю.**
АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ…….. 345

201. **КРАВЧЕНКО Б.Д.**
ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……... 346

202. **НАГУРСЬКИЙ О.А., КАЧАН С.І., ВАСІЙЧУК В.О., МАЦЬКІВ О.О.**
ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГО-ОРІЄНТОВАНОЇ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В КУРСІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГРОМАД……. 348

203. **НАЗАРЕВИЧ Л.Є., НАЗАРЕВИЧ А.В.**
СЕЙСМІЧНІСТЬ В РАЙОНАХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАКАРПАТТЯ……... 350

204. **БЄЛОКОНЬ К.В., МАЛЬОВАНИЙ М.С., ПРОСКУРНІН О.А., КОВАЛЬ В.В.**
ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ЗДОРОВ’Я НАСЕЛЕННЯ ТА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ)…… 351

205. **ПИЛИПЕНКО О.В, САНЬКОВ П.М., ОСТАПЕНКО І.С., РИБАЛКА К.А., КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т.А.**
ОРГАНІЗАЦІЯ ЕВАКУАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ ПІД ЧАС НЕБЕЗПЕК…….. 353

206. **СЕМЕНЧУК О.Р., НАГУРСЬКИЙ О.А.**
ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ ВНАСЛІДОК ВИТОКУ ПАЛИВО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ДІЯЛЬНОСТІ ТОРГОВО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ……... 355

207. **БРАНОВСЬКИЙ М.В., НАГУРСЬКИЙ О.А.**
ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ МІГРАЦІЇ ЗАЛИШКОВИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ІЗ ПОВЕРХНЕВИМИ ТА ҐРУНТОВИМИ ВОДАМИ…… 356

208. **ЧОРНЕНЬКИЙ В.М., НАГУРСЬКИЙ О.А.**
ДИФЕРЕНЦІЙОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАВОВОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ҐРУНТІВ……. 357

209. **РЯБИКА М.М., ШИБАНОВА А.М.**
ЗБІР ДОЩОВОЇ ВОДИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ВОДНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ…… 358

210. **ТИХЕНКО О.М.**
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВОЮ БЕЗПЕКОЮ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ……. 360

211. **САНЬКОВ П.М., БЄЛІКОВ А.С., ПИЛИПЕНКО О.В., ТКАЧ Н.О., ЗАХАРОВ В.Ю.**
ІНТЕГРАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ТА ПОБУТОВИХ ФАКТОРІВ БЕЗПЕКИ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА…… 362

212. **ЖУРБЕНКО В.М.**
МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЗУАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ ВИСОКОЇ ЗОРОВОЇ СКЛАДНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗОРОВОГО КОМФОРТУ, ПРАЦЕЗДАТНОСТІ, БЕЗПЕКИ ПРАЦІ……. 364

213. **СТОРОЖЕНКО Л.В.**
ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ПИТНОЮ ВОДОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ…….. 366

СЕМІНАР 8 «ЦИРКУЛЯРНА БІОЕКОНОМІКА ТА ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ (NATURE-BASED SOLUTIONS) У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

214. **КОПАЧ П.І., ЯКУБЕНКО Л.В., ДАНЬКО Т.Т., ГОРОБЕЦЬ Н.В., ГАЛЬЧЕНКО З.С.**
КОНЦЕПЦІЯ «ЕКОЛОГІЧНОГО ЦІЛОГО ТЕРИТОРІЇ» В КОНТЕКСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ…… 368

215. **ЖАРОВА Л.**
МЕНЕДЖМЕНТ СТАЛОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ……... 370

216. **ВОЛОШИН В.С., ТКАЛЕНКО І.А.**
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВТОРИННОЇ РЕСУРСНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ СУЧАСНОЇ ВОДНЕВОЇ ТА ВУГЛЕЦЕВОЇ МЕТАЛУРГІЇ……. 371

217. **СКОК П.О., СОТНИК Ю.П.**
КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ SMART-WOOD УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ…….. 373

218. **БРУММ Д.В., КАЛЮЖНА Ю.С.**
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВТОРИННОГО ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ ШЛЯХОМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ТА ЗНИЖЕННЯ МІГРАЦІЇ ПЛАСТИФІКАТОРІВ…… 375

219. **RANSKIY A., DURAS Y.**
TECHNOLOGICAL AND INDUSTRIAL ASPECTS OF APPLIED NANOTECHNOLOGY…….. 377

220. **ЗАХАРКО Я.М., СЛЮСАР В.Т., ПОПОВИЧ О.Р.**
ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТОВОЇ РОДЮЧОСТІ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛАНДШАФТІВ……. 378

221. **LEVCHUK R.S., KOCHUBEI V.V., FEDOROVA O.O., MYLYANYCH A.O.**
ENVIRONMENTAL ASPECTS OF UTILIZING RESIDUES FROM HORSE CHESTNUT FRUIT PROCESSING FOR BIOFUEL PRODUCTION…… 380

222. **СОКОЛОВА Т.І., ВАМБОЛЬ В.С.**
БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ З ОТРИМАННЯМ БІОЧАРУ…… 381

223. **ГНАТЮК Н.О.**
ЛЕТКІ ВИДІЛЕННЯ АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН ЯК ПРИРОДООРІЄНТОВАНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ ФІТОСАНІТАРНОГО ЗАХИСТУ АГРОЕКОСИСТЕМ……... 383

224. **КАРАБІНЮК М.М., РОМАН В.І., ЛЕТА В.В., ЧИНЯК В.В.**
АКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМИ ЗАРОСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ДЕРЕВНО-ЧАГАРНИКОВОЮ РОСЛИННІСТЮ……... 385

225. **ПЕТРУК Т.В., ФЕДОНЮК Т.П.**
КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ…….. 387

226. **КВАТЕРНЮК С.М., ШЕВЧЕНКО В.О., МАНДЕБУРА С.В., ЛАТУША Д.Р., БУХЕНКО П.В.**
ШТУЧНІ ВОДНО-БОЛОТНІ УГІДДЯ ЯК ЗАСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ, ПОРУШЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ……. 389

227. **ВРОНСЬКА Н.Ю., ЛЮТА О.В.**
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В УМОВАХ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ….. 391

228. **PODOLAK A., JURCZYK Ł., KOC-JURCZYK J., ROMAŃCZYK P.**
THE QUALITY OF HUMIC MATTER AS AN INDICATOR OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ORGANIC FERTILISERS……. 393

229. **JURCZYK Ł., KOC-JURCZYK J., PODOLAK A., KOPKOWICZ J.**
ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SAMPLE PREPARATION ON THE RESULTS OF AT4-BASED BIOLOGICAL ACTIVITY ASSAYS OF BIOWASTE MONOFRACTIONS……. 394

230. **ЮНГІН О.С., КАЛІНІЧЕНКО О.О., ХОМА А.О., ОХМАТ О.А.**
ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ 3D-КОЛАГЕНОВИХ КАРКАСІВ ІЗ ВІДХОДІВ ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РАНОВОГО СЕРЕДОВИЩА…….. 395

231. **СЛОБОДАНЮК І.Р., РЕФЦЬО М.А., ТИМЧУК І.С.**
ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ РОСТОВИХ СУБСТРАТІВ У ВІДНОВЛЕННІ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ…… 396

232. **КУЛЬБАКА Д.М., ТИМЧУК І.С., СЛЮСАР В.Т., ШКВІРКО О.М.**
ПРИРОДООРІЄНТОВАНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ ТА ЇЇ ПОДАЛЬШИМ АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ…… 397

233. **БРУСТУРНЯК Н.М., ЖУРАВЧАК В.І., САБАДАШ В.В., СЕРЕДА А.С., ТИМЧУК І.С.**
ОРГАНІЧНІ ВІДХОДИ ЯК РЕСУРС ДЛЯ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ МІСТА ЛЬВОВА…… 398

234. **БАРТМАН Ю.А., ЯРЕМА Н.П., ГОЛЕЦЬ Н.Ю., ЗАХАРКО Я.М., СЕРЕДА А.С.**
РОЛЬ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ РІШЕНЬ (NBS) У ВІДНОВЛЕННІ ТА ПІДТРИМАННІ ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ……... 399

235. **МАЛЬОВАНИЙ М., ТИМЧУК В.**
ВИКОРИСТАННЯ СУБСТРАТІВ ТА БІОЧАРУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ…….. 400

236. **МАЛЬОВАНИЙ М., ПИЛИПЧАК І.**
ІНТЕГРОВАНА ЦИРКУЛЯРНА БАГАТОБАР'ЄРНА ПРИРОДООРІЄНТОВАНА СИСТЕМА МІНІМІЗАЦІЇ ДИФУЗНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ……. 401

237. **МАЛЬОВАНИЙ М., ГРИЦЕНКО Н., ГУМНИЦЬКИЙ Я.**
ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНИХ СТОКІВ…….. 402

238. **МАЛЬОВАНИЙ М., ПОПОВИЧ О., БАРАН Н.**
ІНТЕГРОВАНА ЦИРКУЛЯРНА БАГАТОБАР'ЄРНА ПРИРОДООРІЄНТОВАНА СИСТЕМА МІНІМІЗАЦІЇ ДИФУЗНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ……. 403

239. **ЧЕРНЯК Л.М., КВАЛІЄРАШВІЛІ Д.В., ВІДМАЧЕНКО В.О., МАНЄЦКІ Т., ЧЄШЕЛЬСКІ Р.**
ВИКОРИСТАННЯ ДИГЕСТАТУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ, У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ 404

СЕМІНАР 1

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ, ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ, МОНІТОРИНГ, АУДИТ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ

БОЙЦУН А.А., ЧУБАНЬ В.С. (УКРАЇНА, ЧЕРКАСИ)

ЕКОЦИД ЯК ЗЛОЧИН ПРОТИ ЛЮДСТВА ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА: УКРАЇНСЬКИЙ ПРЕЦЕДЕНТ

Інститут управління і безпеки населення,
Національний університет цивільного захисту України
18034, вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, Україна; sv.yak@ukr.net

Abstract. The study is devoted to the research of ecocide as an instrument of modern warfare and its legal qualification. It highlights the scale of destruction of Ukraine's natural and scientific objects, which have a transboundary nature. The elements of the crime are analyzed under national legislation and the norms of international law (in particular, Additional Protocol I to the Geneva Conventions). The importance of implementing ecocide into the Rome Statute and the necessity of including environmental restoration as an obligatory condition in future peace agreements are emphasized.

Створення механізму екологічної безпеки є критичним для цивілізації. Зростаючий антропогенний вплив на довкілля наближає екологічну катастрофу, що безпосередньо загрожує здоров'ю людства. У цьому контексті екоцид посідає центральне місце серед злочинів проти довкілля, а правники-екологи активно лобіюють його включення до переліку міжнародних злочинів (поряд із геноцидом та воєнними злочинами) для запуску механізму універсальної відповідальності.

Війна в Україні, що триває з 2014 року, стала новим витком злочинів проти довкілля. Окупанти спричиняють масштабні забруднення атмосфери, гідро- та літосфери через обстріли резервуарів із токсичними речовинами. Постраждали не лише зони бойових дій, а й тилові області: Дніпропетровська (37 злочинів), Одеська (27), Львівська (17). Особливу небезпеку становлять атаки на об'єкти науки:

- Харківський фізико-технічний інститут: вперше в історії України оголошено підозру в екоциді як воєнному злочині за обстріли ядерної установки.
- Інститут рослинництва ім. Юр'єва: знищено унікальний генетичний банк насіння (понад 160 тис. зразків).

Юридична кваліфікація за КК України (ст. 441). Законодавець не надає вичерпного переліку діянь екоциду, що дозволяє реагувати на нові виклики (ГМО, нанотехнології тощо).

Об'єктивна сторона: злочин є матеріальним (закінчений з моменту масового знищення флори/фауни або отруєння ресурсів) або формальним (з моменту створення загрози катастрофи).

Суб'єктивна сторона: тільки прямий умисел.

Суб'єкт: загальний (особи з 16 років).

Нинішній збройний конфлікт, демонструє нагальну потребу в посиленні міжнародно-правових механізмів захисту довкілля та притягнення до відповідальності за екологічні злочини. Важливим аспектом є превентивна функція міжнародного права шляхом підвищення обізнаності про наслідки екологічних злочинів та забезпечення невідворотності покарання. Також для забезпечення довгострокової екологічної безпеки та сталого розвитку постраждалих територій, необхідна інтеграція екологічних аспектів у мирні угоди та процеси постконфліктного відновлення, яка повинна стати обов'язковою практикою

Руйнування греблі є класичним прикладом екоциду. Це призвело до незворотної зміни гідрологічного режиму та забруднення Чорного моря. З точки зору міжнародного права, це порушення ст. 56 Додаткового протоколу I до Женевських конвенцій, яка забороняє напади на споруди, що містять небезпечні сили. Прямий умисел (внутрішній підрив під контролем окупантів) дає підстави для переслідування вищого керівництва РФ у Міжнародному кримінальному суді.

Отже, екоцид постає як один із найнебезпечніших сучасних злочинів, що становить загрозу не лише довкіллю, а й безпеці та здоров'ю людства загалом. Сучасні збройні конфлікти, зокрема війна в Україні, демонструють масштабні екологічні наслідки – від забруднення природних ресурсів до знищення унікальних наукових і природних об'єктів, що матиме довготривалий вплив на екосистеми та майбутні покоління. Український досвід уже формує важливий прецедент у міжнародній практиці притягнення до відповідальності за екологічні злочини та підкреслює необхідність включення екоциду до переліку міжнародних злочинів. Посилення міжнародно-правових механізмів, інтеграція екологічних аспектів у процеси мирного врегулювання та відновлення, а також розвиток правового регулювання на національному рівні є ключовими умовами забезпечення екологічної безпеки та запобігання подібним злочинам у майбутньому.

КУЗНЄЦОВ П.М.[1] (УКРАЇНА, РІВНЕ), БЄДУНКОВА О.О.[1] (УКРАЇНА, РІВНЕ),
ЦЬОСЬ О.О.[2] (УКРАЇНА, ЛУЦЬК)

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ФОРМ ОРГАНІЧНОГО ТА НЕОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ У ВОДІ ОЗЕР УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

[1]Національний університет водного господарства та природокористування
33028, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна
p.m.kuznietsov@nuwm.edu.ua, o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua
[2]Волинський національний університет імені Лесі Українки
43025, просп. Волі, 13, Луцьк, Україна; oksana.tsos@vnu.edu.ua

Abstract. The obtained results revealed pronounced spatial variability of TOC, DOC, and TIC concentrations in the lakes of the Ukrainian Polissya, reflecting differences in watershed bogging, biogeochemical conditions, and organic matter transformation processes. The highest concentrations of TOC and DOC were recorded in Lake Cheremske, whereas Lake Liubiaz was characterized by the highest TIC content, indicating contrasting features of carbon cycling in the studied aquatic ecosystems.

У сучасних умовах кліматичних змін, трансформації водозборів та посилення антропогенного навантаження особливої актуальності набуває дослідження форм вуглецю у поверхневих водах, зокрема загального органічного (TOC), розчиненого органічного (DOC) та неорганічного вуглецю (TIC). Об'єктом дослідження була вода озер: Карасин (S1), Нобель (S2), Черемське (S3), Люб'язь (S4). Відбір проб води здійснювали відповідно до чинних вимог стандартизованого гідрохімічного контролю. Вимірювання концентрацій TOC, DOC та TIC виконували на аналізаторі вуглецю ELEMENTAR liquiTOC II згідно з ДСТУ EN 1484:2003.

Концентрації форм вуглецю у водах досліджуваних озер характеризувався просторовою неоднорідністю (рис.). Концентрації TOC змінювалися від 6,1 мг/дм³ у пробі S2 до 42,9 мг/дм³ у пробі S3. Аналогічний характер розподілу концентрацій встановлено для DOC, діапазон яких становив 5,3–42,6 мг/дм³. Найвищі значення концентрацій TOC та DOC зафіксовані у воді проби S3. На відміну від TOC, концентрації TIC характеризувалися іншою закономірністю просторового розподілу. Найвищі концентрації TIC встановлено у пробі води S4 48,0 мг/дм³, тоді як мінімальне значення спостерігалося у S3 7,2 мг/дм³.

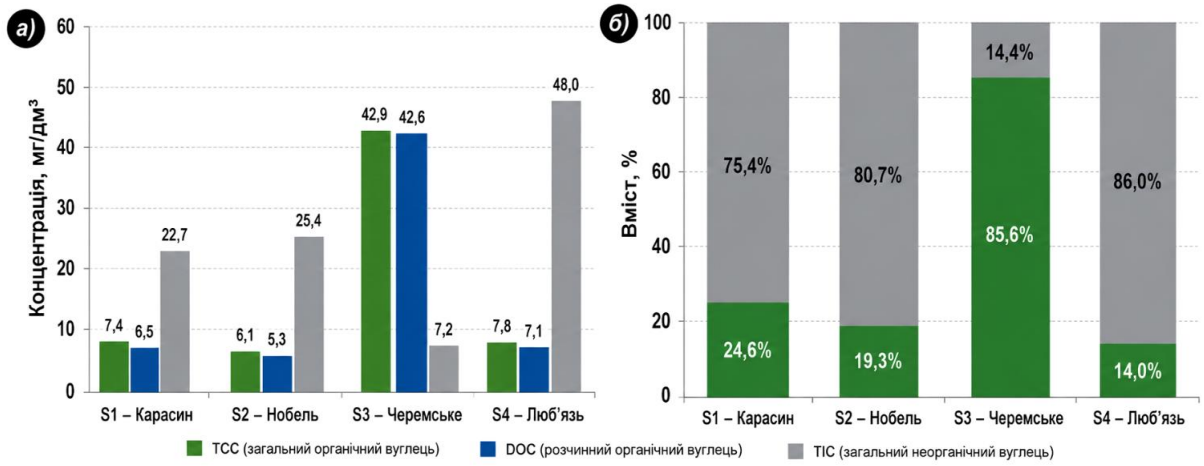


Рис. 1. Концентрації TIC, TOC та DOC
(а) та розподіл форм неорганічного та органічного вуглецю (б) у пробах води досліджуваних озер.

Аналіз відносного розподілу форм вуглецю показав відмінності у структурі вуглецевого балансу досліджуваних озер (рис. 1б), у воді проби S3 органічний вуглець домінував над неорганічним, натомість у воді проби S4 спостерігалася протилежна закономірність. Таким чином, досліджувані озера характеризуються контрастними типами вуглецевого режиму. Озеро Черемське належить до водойм із органогенно-акумулятивним типом функціонування, де переважає TOC та DOC, тоді як озеро Люб'язь характеризується домінуванням TIC та активнішими проявами компонентів карбонатної системи, а озера Карасин та Нобель займають проміжне положення між цими двома типами.

CHUBAR N. (UKRAINE, KYIV)

BIOSORPTION AND BIOMINERALIZATION OF AQUEOUS Mn(II) CATIONS BY VIABLE *SHEWANELLA PUTREFACIENS*: POTENTIAL FOR BIOREMEDIATION

Shupyk National Health Care University of Ukraine
04112, Dorohozhytska str., 9, Kyiv, Ukraine; natalia.chubar@gmail.com

Abstract. This paper presents the results of long-term interfacial processes occurring on the surface of a viable Gram-negative bacterium *Shewanella putrefaciens* in contact with a liquid phase containing aqueous Mn^{2+} cations, which leads to adsorption of Mn(II) with subsequent biomineralization of these cations. Precision spectroscopy tools allowed for a timely and reliable interpretation of these processes. The results obtained in this work are promising basis for starting the development of a bioremediation strategy.

Microbial mineralization of metal cations is one of the encouraging strategies for waters/soils remediation, which requires in-depth knowledge (at the molecular/atomic scales) of the behavior of specific microbes in contact with specific metal cations. The non-pathogenic microorganism *Shewanella putrefaciens* (naturally spread in environment, recommended for bioremediation) and manganese (Mn, a critical chemical element in geochemistry) (both) play a very important role in geochemistry due to the cycling of chemical elements at the molecular-level and on a global scale through various processes such as adsorption, redox transformations, precipitation, dissolution. A deeper understanding of these processes is a prerequisite for the development of their application, one of which is bioremediation based on biomineralization of pollutants.

Manganese occurs naturally as Mn^{2+} cations and solid Mn(II)/Mn(III)/Mn(IV) compounds. *Shewanella putrefaciens (S. putrefaciens)* is a known high-oxidation Mn reducer, but it had never been studied (until our articles [1-3]) what might happen if we bring Mn^{2+} cations (the reduced form of Mn) and *S. putrefaciens (*the reductant of Mn in high oxidation state) into contact. On the other hands, almost all other (prior to publication of our work [1-3]) studies investigated the adsorption of metal cations by microorganisms for a short period of time (from several and 24 hours), which (due to limited experimental conditions) did not allow discovering additional processes besides adsorption.

In view of the above, a series of experiments were performed with viable strains of *S. putrefaciens* at the contact with aqueous Mn(II) cations under the new experimental conditions, applied for the first time: long-term contact time (up to 30 days), small and large batches, typical for adsorption science adsorbent doze (calculated for microbial density) at different temperatures and Mn(II) concentrations [1-3]. To interpret the obtained results, we relied on traditional and precision spectroscopic tools: Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Extended X-ray Absorption Fine Structure (EXAFS)/X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and adsorption science approaches [1-3].

The use of the new experimental conditions made it possible to identify the step-wise processes occurring on the surface of *S. putrefacies* in contact with aqueous solution of Mn^{2+} at different contact times (from the first minutes to several weeks), and to determine the beginning of each of them [1-3]. Such a deep (spectroscopic based) interpretation of the obtained results led to the discovery of three biomineralization processes (at the interface: *S. putrefaciens* + aqueous solution with Mn^{2+}), which take place gradually after the first stage (adsorption), one after the other, as a result of changing physico-chemical conditions in the experimental batches and altering the viability of microbes. For the first time, it was revealed that the biomineralization of an aqueous Mn^{2+} cations by the (initially) viable *S. putrefaciens* always begins with the formation of Mn(II) phosphates with subsequent precipitation of $MnCO_3$ [1-3]. The formation of Mn(III)/Mn(IV) oxides can only evolve in the presence of natural organic matter (namely, fulvic acids) [3]. These findings [1-3] can be used to develop bioremediation strategies that include *S. putrefaciens* as a microorganism capable for different types of biomineralization of metal cations.

References:

1. Chubar N., Visser T., Avramut C., de Waard H. Sorption and precipitation of Mn^{2+} by viable and inactivated *Shewanella putrefaciens*: effect of contact time. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013. №100(232-250).
2. Chubar N., Avramut C., Visser T. Formation of manganese phosphate and manganese carbonate during long-term sorption of Mn^{2+} by viable *Shewanella putrefaciens*: effects of contact time and temperature. Environmental Science: Processes & Impacts. 2015. №17(780-790).
3. Chubar N. Adsorptive (Removal) Potential of Viable *Shewanella putrefaciens* against Coordination Ability of Dissolved Fulvic Acids during the Long-term Contact with Aqueous Mn^{2+}: Implication for Minerology of Mn. Geomicrobiology Journal. 2021. №38(252-266).

КОЗЛОВ В., ШАРИЙ Г. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА)

АВТОМАТИЗОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВИБУХОВИХ ВОРОНОК НА ОСНОВІ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ТА ГІС ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ МІЛІТАРИЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ

Кафедра прикладної екології та хімії, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36011, вул. Віталія Грицаєнка, 24, м. Полтава, Україна; vladislavkozlov2101@gmail.com

Abstract. Armed conflicts create belligerent landscapes with severe soil disturbance and bomboturbation, while mine contamination makes traditional field surveys hazardous or impossible. This study proposes an automated methodology combining the YOLOv11 deep-learning architecture with geographic information systems to detect explosion craters, map bomboturbation zones and assess heavy-metal soil contamination. The model was trained on a custom dataset of 606 very high resolution satellite and aerial image fragments covering the Kupiansk and Kramatorsk districts. On a 117.5 ha test plot, 126 craters were identified with an average confidence of 0.726, while NDVI and NBR indices filtered out false positives caused by vegetation shadows. Over 57% of the craters correspond to 152–155 mm artillery, and the displaced-soil volume reached 1.3–2.1 thousand m³. The approach enables safe and scalable damage assessment, demining planning and land recultivation.

Збройна агресія проти України спричинила масштабну трансформацію екосистем, унаслідок чого сформувались мілітаризовані (постбойові) ландшафти зі значними механічними порушеннями та хімічним забрудненням ґрунтового покриву. Значна частина уражених територій перебуває у так званій «сірій зоні» або є густо замінованою, тож фізична присутність дослідників становить пряму загрозу життю. Водночас неможливість польових обстежень не означає, що моніторинг екологічної шкоди має бути відкладений. За цих умов дистанційне зондування Землі у поєднанні з методами комп'ютерного зору стає незамінним інструментом просторового аналізу порушених земель.

Метою роботи є розроблення й валідація автоматизованої безпечної методики дистанційної ідентифікації вибухових вирв на основі моделі глибинного навчання YOLOv11 та геоінформаційних систем (ГІС) для точного картування зон бомботурбації й оперативного оцінювання рівня забруднення ґрунтів важкими металами на територіях, що зазнали вогневого ураження.

Основою досліджень став спеціально сформований набір даних із 606 фрагментів супутникових і аерофотознімків (ортофотопланів) надвисокої роздільної здатності по землях Куп'янського району Харківської та Краматорського району Донецької областей – регіону тривалого інтенсивного вогневого впливу. Масштаб зображень 1:1000–1:2500 є оптимальним для ідентифікації змін мікрорельєфу; кількість вирв на одному зображенні варіювала від 1 до 300 одиниць.

Для автоматизованого детектування обрано методологію Object Detection замість сегментації. Вибухові вирви, особливо на м'яких ґрунтах або після вивітрювання, мають розмиті межі, тож побудова точних піксельних масок є суб'єктивною, натомість обмежувальні рамки (bounding box) надійно фіксують діаметр ураженої зони. Крім того, такі алгоритми потребують значно менших обчислювальних ресурсів для досягнення високої середньої точності (mAP), що критично при опрацюванні тисяч великомасштабних знімків.

Розмітку зображень виконано вручну у хмарному середовищі Roboflow зі зведенням до розміру 640×640 пікселів технікою Letterboxing без спотворення пропорцій. Вибірку поділено на навчальну (70 %, 424 зображення), валідаційну (20 %, 121) і тестову (10 %, 61) частини. Оскільки тіні дерев і кущів візуально нагадують вирви, застосовано подвійну верифікацію за індексами NDVI та NBR на мультиспектральних даних Sentinel-2 з мінімальною хмарністю, а також крос-анотування незалежним дослідником (сліпий контроль 20 % вибірки).

Для кожної вирви обчислюється фізичний діаметр із застосуванням емпіричного коефіцієнта 0,51 (відокремлення лійки від загальної зони бомботурбації), а обсяг переміщеного ґрунту – за формулою конуса:

$$V = (1/3)\cdot\pi\cdot r^2\cdot h\,, \qquad (1)$$

де V – обсяг переміщеного ґрунту, м³; r – радіус вирви за bounding box, м; h – глибина проникнення боєприпасу, м. За діаметром вирви модель класифікує тип боєприпасу і прогнозує рівень забруднення важкими металами (Pb, Zn, Cu, Cd) за 5-бальною шкалою.

Апробацію методики здійснено на двох ділянках поблизу с. Куп'янськ-Вузловий (Харківська обл.) – масивах ріллі площею 117,5 га та 18,2 га, оточених лісосмугами (масштаб аналізу 1:2000). На першій ділянці алгоритм ідентифікував 126 об'єктів із діапазоном довіри 0,341–0,892 та середнім значенням 0,726. Найвищу довіру зафіксовано для вирв від авіаційних бомб, найнижчу – для снарядів малого калібру в тіньових зонах лісосмуг. Індекси NDVI та NBR відфільтрували 7 хибнопозитивних спрацювань. На другій ділянці виявлено 4 об'єкти з довірою 0,695–0,855 і 100 % істинно позитивних результатів; повторне візуальне обстеження підтвердило відсутність невиявлених вирв.

Для візуалізації просторового розподілу та інтенсивності вогневого впливу на основі згенерованого векторного шару автоматично обчислено геометричні центри (центроїди) вирв, класифіковані за діаметром на три категорії (3–5 м, 5–7 м і 7–15 м), та побудовано карту щільності (Heatmap) із накладенням регулярної квадратної сітки з розміром комірки 50 м і присвоєнням кожній комірці унікального індексу. Класифікацію застосованих засобів ураження за діаметрами вирв наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл ідентифікованих вирв за типом боєприпасів (тестова ділянка № 1)

Тип боєприпасу	Частка, %
Невизначено (артилерія / авіабомби)	31,4 (38 од.)
Артилерія 152–155 мм	25,6 (31 од.)
Комбінований вплив (міномети 120 мм, РСЗВ 300 мм, арт. 152–155 мм)	19,0
Міномети 120 мм	4,1
Авіабомби	3,3

Серед чітко диференційованих об'єктів домінують вирви, характерні для артилерії калібру 152–155 мм (25,6 %), що свідчить про масоване застосування великокаліберної ствольної артилерії як основного чинника формування вирвового ландшафту; загалом понад 57 % вирв мають морфометричні характеристики цього калібру. За формулою (1) встановлено, що лише на ділянці № 1 обсяг переміщеного ґрунту становить 1,3–2,1 тис. м³. Інтеграція цих даних із показниками хімічного забруднення уможливлює побудову теплових карт концентрацій важких металів для планування рекультивації.

Отже, комплексну методику моніторингу мілітаризованих ландшафтів, побудовану на синергії архітектури YOLOv11 та ГІС-технологій, успішно валідовано: на тестових ділянках ідентифіковано понад 130 зон бомботурбації із середньою довірою 0,726, а інтеграція вегетаційних індексів забезпечила ефективну фільтрацію хибнопозитивних спрацювань. Отримані результати становлять науково-методичну основу для впровадження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів, можуть слугувати доказовою базою юридичної відповідальності за злочини екоциду, а також підґрунтям для планування гуманітарного розмінування та рекультивації порушених земель.

Основними перевагами підходу є технологічна гнучкість і масштабованість: архітектура алгоритму допускає інтеграцію в бортові системи БПЛА для оцінювання шкоди в режимі реального часу, методика передбачає донавчання моделі на нових наборах даних, а модульність програмного конвеєра забезпечує заміну моделі новішими поколіннями нейромереж без переробки ГІС-інтеграції.

Список літератури

[1] Bonchkovskyi, O., Ostapenko, P., Bonchkovskyi, A., & Shvaiko, V. (2024). War-induced soil disturbances in North-Eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change (SSRN Scholarly Paper No. 4986600). Social Science Research Network. https://doi.org/10.2139/ssrn.4986600

[2] He, L., Zhou, Y., Liu, L., Cao, W., & Ma, J. (2025). Research on object detection and recognition in remote sensing images based on YOLOv11. Scientific Reports, 15(1), 14032. https://doi.org/10.1038/s41598-025-96314-x

[3] Kussul, N., Drozd, S., Yailymova, H., Shelestov, A., Lemoine, G., & Deininger, K. (2023). Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 125, 103562. https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562

[4] Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства. (2022). Офіційний вебпортал парламенту України. https://zakon.rada.gov.ua/go/z0285-98

[5] Свинаренко, Ю. П. (2025). Передумови юридичної відповідальності за екоцидну політику рф проти України в ході російсько-української війни. Київський часопис права, (2), 193–200. https://doi.org/10.32782/klj/2025.2.25

РАЗАНОВ С.Ф., БАЛЬКОВСЬКИЙ В.В. (УКРАЇНА, ДУБЛЯНИ)

НАКОПИЧЕННЯ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ТКАНИНАХ СТАВКОВОЇ РИБИ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького
80381, вул. В. Великого, 1, Дубляни, Україна

Abstract. У роботі досліджено особливості накопичення Zn та Cu у м'язовій і кістковій тканинах п'яти видів ставкової риби, вирощеної в умовах Вінницької області. Zn переважно накопичувався у кістковій тканині, а найвищі концентрації Zn – у карася сріблястого. Найбільший вміст Cu у м'язовій тканині встановлено у коропа, у кістковій тканині – у ляща. Отримані результати свідчать про видоспецифічний характер розподілу Zn і Cu в організмі ставкових риб та можуть бути використані для екологічного моніторингу водних екосистем і оцінки безпечності продукції аквакультури.

Ставкове рибництво забезпечує значну частку тваринного білка у багатьох країнах Європи. Посилення антропогенного навантаження на водні екосистеми сприяє надходженню до водойм важких металів і відповідно призводить до погіршення їх екологічного стану та зниження здатності водних екосистем до самовідновлення. Особливу увагу привертають есенціальні мікроелементи Zn і Cu, які в оптимальних концентраціях є необхідними для нормального перебігу фізіолого-біохімічних процесів в організмі риб, однак за надмірного надходження можуть накопичуватися у тканинах, порушувати обмінні процеси та негативно впливати на якість і безпечність рибної продукції. У зв'язку з цим дослідження особливостей акумуляції Zn і Cu в організмі ставкових риб є важливим для екологічного моніторингу водних екосистем та оцінки безпечності продукції аквакультури.

Об’єктами дослідження були п’ять видів ставкової риби: короп звичайний, білий амур, товстолоб білий, лящ та карась сріблястий. Зразки риби отримано з рибогосподарських ставків, с. Пултівці Вінницької області. Відбір зразків проводили у травні місяці.

Вміст Zn та Cu у м’язовій та кістковій тканинах визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії на спектрофотометрі С-115ПК в Інституту біології тварин НААН.

Аналіз отриманих результатів свідчить про видоспецифічні особливості накопичення Zn та Cu у м'язовій і кістковій тканинах ставкових риб. Встановлено, що концентрація Zn у більшості досліджуваних видів переважала у кістковій тканині. Найвищий його вміст у кістках виявлено у карася сріблястого (78,64 ± 1,33 мг/кг), що перевищувало показник ляща у 1,86 раза, коропа – у 2,13 раза, білого амура – у 2,33 раза та товстолоба – у 3,14 раза. Найменшу концентрацію цинку в кістках встановлено у товстолоба. У м'язовій тканині найвищий вміст Zn також відзначено у карася сріблястого (11,24 ± 0,10 мг/кг), що було у 1,93 раза більше, ніж у коропа, у 2,35 – порівняно з білим амуром, у 2,02 – з товстолобом та у 2,28 раза – з лящем. Водночас найнижчий вміст Zn у м'язовій тканині встановлено у білого амура. Порівняння розподілу Zn між тканинами показало, що його концентрація у кістковій тканині перевищувала показники м'язової у 6,3 раза у карася сріблястого, 8,6 – у ляща, 6,3 – у коропа, 7,0 – у білого амура та 4,5 раза – у товстолоба, що свідчить про переважне депонування цинку в кістковій тканині незалежно від виду риби.

Найвищу концентрацію Cu у м'язовій тканині встановлено у коропа (1,28 ± 0,01 мг/кг), що перевищувало показники товстолоба у 2,78 раза, карася сріблястого – у 3,46, білого амура – у 3,66 та ляща – у 4,92 раза. Найменший вміст міді у м'язовій тканині відзначено у ляща (0,26 ± 0,02 мг/кг). У кістковій тканині максимальна концентрація Cu характерна для ляща – 1,42 ± 0,02 мг/кг, що було у 2,12 раза більше, ніж у коропа, у 2,45 раза – порівняно з білим амуром, у 2,84 – з товстолобм та у 3,16 раза – з карасем сріблястим. Найнижчу концентрацію міді в кістках встановлено у карася сріблястого. Порівняльний аналіз розподілу Cu між тканинами свідчить, що лише у коропа її концентрація у м'язовій тканині була вищою, ніж у кістковій (у 1,91 раза). У решти видів переважне накопичення Cu відбувалося у кістковій тканині: у ляща – у 5,46, білого амура – у 1,66, товстолоба – у 1,09 та карася сріблястого – у 1,22 раза порівняно з м'язовою тканиною.

Отже, накопичення Zn і Cu у тканинах ставкових риб має виражений видовий характер. Виявлено переважне депонування Zn у кістковій тканині, а найвищі концентрації – у карася сріблястого. Cu накопичувався переважно у кістковій тканині, за винятком коропа, у якого найвищу концентрацію Cu виявлено у м'язовій тканині.

СКРИПЧУК П.М., СКРИПЧУК М.П., ЛОГВИН С.Ю. (УКРАЇНА, РІВНЕ)

ПРОЄКТНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ КООПЕРАЦІЇ І КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В АГРОБІЗНЕСІ

Національний університет водного господарства та природокористування
33000, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна; petroskrypchuk@gmail.com

Abstract. Transformed and organized agrarian businesses and the corresponding system of nature management are effective drivers of the economy of Ukraine. To organize cooperation and clustering in agribusiness, a combination of interrelated actions at the local, national, regional and global levels is necessary. For Ukraine in the field of agribusiness, it is necessary: development of legislative and regulatory documents for cooperation and clustering, creation of incentives for the development of small and niche agribusiness; formation on a voluntary basis on one's own initiative of cooperatives, craftsmen, medical and logistics clusters of the general concept of creating clusters in Ukraine.

За останні 50 років світове виробництво продовольства виросло приблизно на 300 %. Але кількість людей, які голодують також збільшилася на 60 мільйонів за останні роки. Крім того, світова спільнота втрачає більше третини всього виробленого продовольства і щороку такі збитки перевищують 900 мільярдів доларів. Світовий ринок розумного сільського господарства оцінювався в 22,5 млрд. доларів в наш час. За останніми оцінками, до 2050 року глобальний попит на продовольство різко зросте на 70%, що потребує інвестицій у сільське господарство на суму близько 80 мільярдів доларів для забезпечення продовольством прогнозованих дев'яти мільярдів людей [1].

Значний попит на сільськогосподарську продукцію, зумовлений приростом населення, призводить до підвищення вартості добрив, пестицидів, гербіцидів та інших сільськогосподарських ресурсів. Крім того, парниковий ефект і, як наслідок, глобальне потепління провокують сильні посухи та деградацію ґрунтів. Все це робить землеробство критично важливим для існування людства. У широкому сенсі агротехнології призначені для підвищення продуктивності й прибутковості ферм за рахунок зниження витрат або втрат врожаю. За прогнозами до 2030 року населення світу досягне 8,5 мільярда осіб. Тому країни роблять ініціативи для задоволення попиту на продовольчі товари й водночас для досягнення масштабованості сільського господарства.

Світ все ширше визнає, що комплексні, багатогранні питання, до яких, зокрема, належать питання продовольчої безпеки та харчування, потребують цілісних міжсекторальних підходів, об'єднання ресурсів, знань та досвіду найрізноманітніших зацікавлених сторін. Порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року не тільки визначає цілі у сфері сталого розвитку, а й пропонує засоби їх досягнення. Такі рішення можливо виконувати через ефективне партнерство між державними організаціями, між державним та приватним секторами й організаціями громадянського суспільства.

У розвитку світової продовольчої системи настає переломний момент. Демографічні зміни, посилення навантаження на відновлювані ресурси та конкуренції за можливість їх використовувати, наслідки зміни клімату, що неухильно посилюються, і втрата біорізноманіття – все це диктує необхідність глибоких перетворень на всіх рівнях. Проведення послідовної державної політики, спрямованої на європейський та євроатлантичний курс, побудова відносин з новими азійськими та близькосхідними центрами тяжіння, створення сприятливого бізнес-клімату, розвиток кооперації та кластерів, залучення інвестицій та розвиток малого агробізнесу та інші механізми дадуть змогу посилити позицію України як регіонального суб'єкта та стануть чинниками зростання економіки. Забезпечення інноваційного випереджального економічного зростання сприятиме людському розвитку через відповідну якість освіти, науки, медицини, культури та збереження НПС у контексті циркулярної економіки.

Трансформовані та організовані аграрні бізнеси та система природокористування зможуть ефективно надавати конкурентні переваги на міжнародному ринку товарів і послуг з іноземними державами, що сприятиме зростанню податкових надходжень до бюджету та доходів населення. Це складні та системні виклики, які вимагають поєднання взаємопов'язаних дій на місцевому, національному, регіональному та глобальному рівнях. Для України у сфері агробізнесу необхідно:

- напрацювання законодавчо-нормативних документів кооперації та кластеризації, створення стимулів розвитку малого й нішевого агробізнесу, а відтак збереження сільських населених пунктів в у мовах глобалізації економіки, ринку земель, залежності від змін клімату та виснаження водних ресурсів (як підземних так і поверхневих);

- утворення на добровільній основі за власної ініціативи кооперативів, крафтовиків, медичних й логістичних кластерів загальної концепції створення кластерів в Україні (досвід Рівненського медичного кластеру та кооперативів Львівської області);

- забезпечення доступу через дорадчі служби, кластери до національної інфраструктури геопросторових даних, передача повноважень державних органів у сфері регулювання земельних відносин до органів місцевого самоврядування;

- створення правових, податкових та фінансово-кредитних умов для активного розвитку сільськогосподарської кооперації та крафтового бізнесу й об'єднань малих виробників;

- спрощення процедури провадження господарської діяльності для суб'єктів господарювання, що здійснюють виробництво крафтових харчових продуктів для їх реалізації на локальних аграрних ринках;

- виконання програм з підтримки виробників органічної продукції;

- запровадження системи простежуваності в ланцюжках постачання ресурсів на виробництво та збут аграрної продукції;

- апробація європейської практики у сфері адміністрування суб'єктів виробництва сільськогосподарської продукції та у сфері ефективного електронного моніторингу;

- популяризація концепції «Індустрія 5.0» та її окремих елементів як обов'язкового фактора підвищення конкурентоспроможності агробізнесу;

- сприяння проведенню просвітницьких заходів щодо перенесення передового досвіду з сектору IT до промислових секторів;

- забезпечення використання та реалізації підходу смарт-спеціалізації кожного регіону (приєднання України до Європейської Платформи смарт-спеціалізації (S3 Platform).

З точки зору економіки, основна перешкода на шляху перетворень – це дисбаланс влади в агропродовольчому виробництві, заснований на використанні ресурсів, що купуються, і неефективність державного управління, що обумовлює нерівність у доступі до знань і ресурсів та керівництва продовольчими та торговельними системами. Агроекологічні підходи все більшою мірою породжують прив'язані до певних територій концепції цілісних продовольчих систем, що приділяють основну увагу драйверам, пов'язаним з навколишнім природним середовищем, здоров'ям і суспільством. Наприклад, компанія EOS Data Analytics (EOSDA), постачальник аналітики супутникових зображень, оголосила про свої плани вивести сім оптичних супутників EOS SAT на низьку навколоземну орбіту. Запускаючи власну групу супутників, компанія прагне охопити повний цикл роботи з супутниковими даними – від безпосереднього збору зображень до їх обробки, аналізу, розподілу та доставки. Супутникові рішення для точного землеробства від EOS Data Analytics принесуть велику користь партнерам у сфері банківських послуг в агробізнесі, надаючи критично важливу інформацію для оцінки та управління кредитними ризиками. Наприклад, перш ніж видати кредит землевласнику, банк може перевірити історичні дані щодо ферми, отримати інформацію про врожайність та оцінити рентабельність сільгоспугідь.

Іншим прикладом є оптимізація використання води та підвищення поінформованості споживачів про різні схеми обліку води (наприклад, аналіз життєвого циклу, «водного сліду» та ін.). Проте використовувати цей інструментарій слід за наукового обґрунтування, тому що з його допомогою не завжди вдається відобразити всі деталі конкретної ситуації, особливо дефіциту водних ресурсів на місцях та його впливу на екосистеми. У багатьох випадках національна політика в галузі водних ресурсів не виділяє як окремий пріоритет використання води в контексті продовольчої безпеки. Незважаючи на те, що іноді виділення водних ресурсів для цілей забезпечення продовольчої безпеки належить до пріоритетів, проблема полягає у втіленні цього положення на практиці, не в останню чергу внаслідок відсутності комплексного характеру процесу прийняття рішень.

Список літератури:

[1] Website: www.eos.com. URL: https://eos.com/uk/ (дата звернення 15.08.2026р.).

WIŚNIOWSKA E. (POLAND, CZESTOCHOWA)

EFFLUENTS FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS AN ALTERNTAIVE WATER RESOURCE UNDER CLIMATE CHANGES: EMERGING CONTAMINANTS AND ENVIRONMENTAL RISKS

Czestochowa University of Technology,
71, H. Dabrowskiego str., Czestochowa, Poland; ewa.wisniowska@pcz.pl

Abstract. Climate change is increasingly affecting both the availability and quality of surface water resources. Prolonged droughts, rising temperatures and periods of low river at present more and more frequently cause water stress in many regions of the world, including European countries. At the same time wastewater treatment plants discharge large volumes of effluents into rivers and lakes. Under increasing water scarcity in surface waters the effluents must be considered as alternative water resource, and ass well important stream of water in water balance of the receivers. Because of this the quality of the treated effluents must be of high interest and importance.

The aim of the study is to evaluate the opportunities and challenges of the reuse of effluents from wastewater treatment plants under climate change conditions. Particular emphasis is put on emerging contaminants, environmental risk and effectiveness of advanced treatment methods. The analysis was made based on the review of recent scientific literature and the evolving European regulatory frameworks for water reuse and urban wastewater treatment, with particular attention to European Union (EU) legislation and its implications for effluent quality management.

Potential applications of effluents include agricultural of landscape irrigation, use in industrial processes, urban not potable uses or groundwater recharge. These applications are consistent with the principles of circular water management in which treated wastewater is considered as a source of recoverable water. Regulation (EU) 2020/741 reflects this transition by establishing minimal requirements for reclaimed wastewater used for agricultural irrigation and introducing a risk based approach intended to protect human and animal health and the environment [1].

It should be emphasized that conventional wastewater treatment systems widely used at present in Europe were primarily developed to remove organic compounds, suspended solids and nutrients (nitrogen and phosphorus compounds). They do not ensure sufficient removal of emerging pollutants such as e.g. pharmaceuticals, personal care products, endocrine disrupting compounds, pesticides, per- and polyfluoroalkyl compounds, microplastics. These persistent micropollutants may therefore remain in effluents from conventional wastewater treatment plants [2,3]. A recent risk based assessment of persistent micropollutants in effluents from wastewater treatment plants demonstrated that number of pharmaceuticals and other organic micropollutants may still represent potential environmental hazards. It means that quality of effluents that can be obtained in conventional wastewater treatment systems can be insufficient to ensure the safety of reclaimed water [3].

This insufficiency is relatively wide discussed, but the fact that climate changes can additionally modify the risk connected with wastewater discharge and reuse is rarely emphasized. During drought ad low-flow conditions, the reduced dilution capacity may increase the relative contribution of treated wastewater to receiving surface waters and consequently increase exposure to contaminants it carriers. Simultaneously the higher temperatures can affect oxygen conditions, biological processes and contaminant transformations. In contrast, intensive rainfall and flooding may cause hydraulic overloading of sewerage systems and wastewater treatment plants. It may result in the fluctuations of the treatment effectiveness and episodic releases of not efficiently treated wastewater to the receivers [4,5]. Thus, climate changes observed now days, affect both need for wastewater reuse and the environmental conditions determining its safe use.

These challenges indicate the need of modifying the approach to wastewater treatment from based only on conventional effluent-quality parameters towards integrated, risk based water management. Monitoring strategies should consider the intended use of reclaimed water, local environmental conditions, potential exposure ways and relevant chemical and biological hazards. This approach is consistent with Regulation (EU) 2020/741 which requires the establishment of water reuse risk-management plans and allows additional water quality requirements and barriers to be introduced if necessary [1].

Advanced wastewater treatment methods may provide effective removal of emerging contaminants from wastewater. Such technologies as advanced oxidation processes (AOPs), activated carbon use and membrane based processes can significantly improve the removal of persistent organic micropollutants. AOPs enable the degradation of these compounds that are resistant to conventional biological and physicochemical treatment

methods, while membrane technologies provides an effective physical separation barrier. Hybrid systems combining membrane separation with AOPs and adsorption may offer the promising solutions for producing reclaimed water of appropriate quality [6]. However, the application of these methods should consider not only the effectiveness of pollutants removal but also energy consumption, operational costs, membrane fouling, concentrate management, or possible formation of harmful transformation by-products.

The grooving importance of micropollutant compounds control in treated wastewater is reflected in Directive (EU) 2024/3019 concerning urban wastewater treatment. It introduces quaternary treatment aimed at removing a broad spectrum of organic micropollutants [7]. Combining Directive (EU) 2024/3019 with EU water reuse framework opportunity to integrate wastewater reuse and micropollutants control is created as a common strategy of the future wastewater treatment technologies.

Conclusion: Treated effluents represent an important alternative water resource under climate changes conditions. It safe use, however, requires a transition from conventional end of pipe wastewater management, towards integrated systems combining fit for purpose treatment, monitoring of emerging pollutants, environmental risk assessment and advanced treatment technologies. There is a need to transform wastewater treatment technologies from focused solely on pollutant removal into important tools of climate- resilient and circular water management systems.

References

1. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. Official Journal of the European Union, L 177, 32-55, 2020.
2. Reddy K.R., Kandou V., Havrelock R., El-Khattabi A.R., Cordova T., Wilson M.D., Nelson B., Trujillo C., Reuse of treated wastewater: drivers, regulations, technologies, case studies, and Gerater Chicago Area experiences, Sustainability, 15, 7495, 2023, https://doi.org/10.3390/su15097495.
3. Khan U.A., Löffler P., Spilsbury F., Wiberg K., Stålsby Lundborg C., Lai F.Y. Towards sustainable water reuse: A critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality. Journal of Hazardous Materials, 480, 136175, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136175.
4. Li J., Li X., Liu H., Gao L., Wang W., Wang Z., Zhou T., Wang Q. Climate change impacts on wastewater infrastructure: A systematic review and typological adaptation strategy. Water Research, 242, 120282, 2023. https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120282.
5. van Vliet M.T.H., Thorslund J., Strokal M., Hofstra N., Flörke M., Ehalt Macedo H., Nkwasa A., Tang T., Kushal S.S., Kumar R., van Griensven A., Bouwman L., Mosley L.M. Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes. Nature Reviews Earth & Environment, 4, 687–702, 2023. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3.
6. Dhamorikar R.S., Lade V.G., Kewalramani P.V., Bindwal A.B. Review on integrated advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 138, 104–122, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2024.04.037.
7. Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 concerning urban wastewater treatment (recast). Official Journal of the European Union, 24/3019, 12.12.2024.

The scientific research was funded by the statute subvention of Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment.

СІМ'ЯЧКО О.І. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ УПАКОВКИ В УКРАЇНІ

Державний торговельно-економічний університет
02156, вул. Кіото, 19, Київ, Україна; knute@knute.edu.ua

Abstract. The volume of packaging waste generated in Ukraine has a tendency to grow. Until recently, there was no state accounting of packaging waste. This, as well as the incomplete formation of the regulatory framework for packaging waste management, the lack of an effective system for collecting this waste and the low level of its recycling lead to a deterioration of the environmental situation in the country and a loss of raw materials for industry. The experience of EU countries shows the effectiveness of implementing extended liability of packaging producers and a deposit return system for various types of packaging.

Щорічно як у світі в цілому, так і зокрема в Україні утворюється значна кількість відходів упаковки. За прогнозами їх кількість буде зростати, особливо, якщо не вжити заходів щодо запобігання їх утворенню та підвищення рівня їх переробки. Так, в умовах збереження нинішнього усталеного сценарію кількість пластикових відходів у світі до 2040 року зросте вдвічі і перевищить 615 млн метричних т. З них 37,9% становлять відходи пластикової упаковки [1].

Відходи упаковки утворюються на всіх рівнях ланцюга постачання продукції. У складі цих відходів як транспортна, групова, так і споживча та сервісна упаковки. Відповідно утворювачами цих відходів можуть бути як підприємства (виробничі, комерційні тощо), так і домогосподарства. Відповідно до експертних даних приблизно 30% побутових відходів в Україні – це відходи упаковки.

До 2025 року в Україні були відсутні державний облік та статистика відходів упаковки. У 2025 році в Україні було утворено майже 112,2 тис. т відходів упаковки (включаючи роздільно зібрану упаковку з побутових відходів), з яких 2848,7 т відносять до небезпечних відходів. Із загального обсягу утворених у 2025 році відходів упаковки 75309 т або 67,1% становила паперова та картонна упаковка, 19200 т (17,1%) – пластмасова, 4740 т (4,2%) – скляна, 4585 т (4,1%) – дерев'яна, 3437 т (3,1%) – змішана, 1540 т (1,4%) – комбінована (композитна), 476 т (0,4%) – металева (крім упаковки, що містить тверду пористу матрицю із небезпечних речовин (наприклад, азбесту), включаючи пусті газові балони). Роздільно зібрані відходи упаковки від домогосподарств у 2025 році становили 2008 т (1,79% загального обсягу утворених відходів упаковки) [2]. Показник утворення відходів упаковки в Україні в середньому становить 75–80 кг на рік на людину і має тенденцію до зростання, проте лише 12–14% відходів упаковки в Україні піддають рециклінгу [3].

У Німеччині, де рівень переробки відходів є високим, усі пакувальні матеріали, як з домогосподарств, так і з інших джерел, охоплюються схемами розширеної відповідальності виробника, організованими кількома конкуруючими організаціями відповідальності виробників (PRO). Німецький Закон про упаковку вимагає від PRO застосовувати модуляцію зборів на основі придатності до переробки та вмісту перероблених чи відновлюваних матеріалів. Законом про упаковку встановлено заставу за упаковку багаторазового використання. Національна система повернення відходів (DRS) у Німеччині була однією з перших у Європі. Сьогодні обов'язкова схема охоплює майже всі одноразові банки та пляшки для напоїв, виготовлені з алюмінію, скла та пластику, зокрема ПЕТ [4].

У Польщі загальний рівень переробки відходів упаковки досягнув 56% у 2019 році і в основному зумовлений відходами паперової, картонної та скляної упаковок, які становлять найбільшу частку всіх утворених відходів упаковки та мають найвищі показники переробки. Роздільний збір відходів «від дверей до дверей» є обов'язковим для збору паперу та картону, скла, біовідходів, металів та пластмас. Система доповнюється збором у пунктах прийому та на майданчиках збору відходів (civic amenity sites). Система розширеної відповідальності виробника охоплює всі фракції пакувальних відходів як з домогосподарств, так і з непобутових джерел. Тим не менш, не існує системи розширеної модуляції платежів. У Польщі діє податок на пластикові пакети, запроваджено плату за одноразовий пластик, впроваджується національна система повернення депозитів (DRS) щодо пластикових пляшок об'ємом до 3 л, металевих банок об'ємом до 1 л та скляних пляшок, що підлягають поверненню, об'ємом до 1,5 л [5].

У Латвії загальний рівень переробки відходів упаковки досягнув 61% у 2022 році. При цьому рівень переробки відходів паперової, картонної та скляної упаковок був 78%, а пластикової упаковки – 47%. Збір у пунктах прийому є переважною системою збору в Латвії для всіх матеріалів, що підлягають переробці, а також для залишкових відходів. У деяких сільських районах, де щільність населення занадто низька для облаштування пунктів прийому, також існує змішаний збір матеріалів,

що підлягають переробці, «від дверей до дверей». Роздільний збір є обов'язковим для відходів, зібраних з усіх побутових та непобутових джерел (наразі збір не розрізняє пакувальні та непакувальні відходи). Однак отвори контейнерів у пунктах прийому спроєктовані таким чином, щоб найкраще відповідати відходам упаковки. У Латвії діє система розширеної відповідальності виробника, яка охоплює відходи упаковки як з побутових, так і з непобутових джерел для всіх пакувальних матеріалів, однак немає розширеної модуляції зборів залежно від категорії матеріалів. У Латвії застосовують податки на упаковку для всіх фракцій упаковки. Виробники звільняються від сплати податку на упаковку, коли вони приєднуються до організації відповідальності виробника. Також створена система повернення застави для пластикової, алюмінієвої та скляної упаковки для напоїв. Система включає приблизно 1410 пунктів збору, доповнених 442 пунктами в секторі HoReCa [6].

В Україні у 2023 році набрав чинності Закон України «Про управління відходами». Це є рамковий документ, який базується на принципах та найкращих практиках європейського законодавства, що визначені Директивою Європейського Парламенту та Ради від 19.11.2008 № 2008/98/ЄС. Даний Закон України передбачає створення системи розширеної відповідальності виробників продукції, у результаті споживання / використання якої утворюються відходи упаковки. Впровадження схеми розширеної відповідальності виробника для відходів упаковки повинно покривати витрати на її роздільне збирання і управління за рахунок поєднання доходів від продажу ресурсоцінних компонентів та внесків виробників продукції до організацій розширеної відповідальності виробника. Для імплементації законодавства ЄС у сфері управління відходами упаковки урядом було розроблено і зареєстровано у Верховній Раді України у 2023 році законопроєкт «Про упаковку та відходи упаковки», який зокрема передбачав впровадження розширеної відповідальності виробників упаковки і можливість запровадження депозитної системи, проте він не був прийнятий. З огляду на зміну уряду в Україні у 2026 році та з урахуванням скасування з 12 серпня 2026 року Директиви 94/62/ЄС про паковання та відходи паковання виникла потреба у новому законопроєкті, який очевидно має враховувати положення Регламенту (ЄС) 2025/40 про упаковку та відходи упаковки (PPWR).

Ситуація, що склалася в Україні у сфері управління відходами упаковки, є незадовільною, зокрема у сфері забезпечення збирання відходів упаковки, оброблення та відновлення. Відсутність ефективної системи збирання відходів упаковки щороку призводить до втрати вагомого ресурсного потенціалу для переробної промисловості у вигляді відходів паперу і картону, скла, полімерів тощо. Як наслідок – погіршення екологічної ситуації. На сьогодні в Україні суб'єкти господарювання не несуть відповідальності за управління відходами упаковки, а домінуючим способом управління відходами упаковки залишається їх вивезення та захоронення на полігонах та сміттєзвалищах [3].

До позитивних зрушень у цій сфері в Україні можна віднести поступове впровадження роздільного збору побутових відходів, обмеження на законодавчому рівні обігу окремих видів пластикової упаковки, нанесення у маркуванні все більшої кількості товарів інформації про матеріал, з якого виготовлено їх упаковку чи окремі її частини.

Отже, для підвищення ефективності управління відходами упаковки в Україні слід завершити створення відповідної нормативно-правової бази, гармонізованої з законодавством ЄС, та впровадити розширену відповідальність виробників упаковки.

Список літератури:

[1] *Forecast distribution of plastic waste generation worldwide in 2040, by application.* (2024, October, 1). Statista. https://www.statista.com/statistics/1559352/projected-plastic-waste-generation-share-by-source/

[2] Держстат. (б. д.). https://stat.gov.ua/uk/explorer.

[3] Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1353-р (2024) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80#n15

[4] *Germany profile on municipal and packaging waste management – 2025*. (2025, April, 15). European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/de-municipal-waste-factsheet.pdf

[5] *Poland profile on municipal and packaging waste management – 2025*. (2025, April, 15). European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/pl-municipal-waste-factsheet.pdf

[6] *Latvia profile on municipal and packaging waste management – 2025*. (2025, April, 15). European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/lv-municipal-waste-factsheet.pdf

ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В., ЗЕЛІНСЬКИЙ Д.В. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ВИКИДІВ У АТМОСФЕРУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІННИЦЬКОГО РЕГІОНУ

Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна; vntu@vntu.edu.ua

Abstract. The paper examines statistical data on atmospheric air pollution in Vinnytsia region for 2023-2025. Emissions into atmospheric air by types of economic activity and levels of pollutants in atmospheric air were analyzed. Exceedances of the MPC of pollutants and their toxic impact were recorded based on the results of the implementation of the plan for monitoring studies of atmospheric air quality. The indicators of the structure of general morbidity of the population for 2023-2025 were analyzed. The dynamics of the increase in morbidity rates, in particular pulmonary diseases, diseases of the circulatory system, which negatively affect the reproductive health of the population, were identified. Numerical modeling of these processes was carried out. The study is part of the creation and implementation of an appropriate management system for the environmental safety of atmospheric air.

Існує значна кількість наукових досліджень, які досліджують кореляцію між рівнями забруднення довкілля в цілому і рівнем захворюваності [1-3]. Основні категорії захворювань, які можуть бути пов'язані з забрудненням довкілля, включають респіраторні захворювання, онкологію, серцево-судинні захворювання та негативно впливають на репродуктивне здоров'я. Так, науковими дослідженнями встановлено, що підвищення рівня забруднення повітря, зокрема пилу, вуглекислого газу, оксидів азоту і сірководню збільшують ризик розвитку респіраторних захворювань, таких як астма, хронічний бронхіт та інші хвороби легень. Також встановлено зв'язок між забрудненням повітря та підвищенням ризику розвитку серцево-судинних захворювань, таких як інфаркт міокарда та інсульт. Окремі забруднюючі речовини, такі як азбест, бензол, радон, діоксини та інші хімічні речовини, являються канцерогенними і сприяють розвитку онкологічних захворювань, зокрема легень та шкіри.

Основні забруднювачі атмосферного повітря за звітний 2023 рік представлені у таблиці 1 [4]. Основними речовинами, що забруднюють атмосферне повітря населених пунктів є діоксид сірки (55,9%), речовини у вигляді твердих суспендованих частинок (14,6%), сполуки азоту (10,6%), метан (9,5%) та оксид вуглецю (6,7%).

Таблиця 1

Основні забруднювачі атмосферного повітря за 2023 рік [6]

№ з/п	Підприємство-забруднювач	Викидів, т/рік	До загального обсягу викидів в області, %
	Всі підприємства	**79265,0**	**100,0**
1	Відокремлений підрозділ «Ладижинська теплова електрична станція» АТ «ДТЕК «Західенерго»	54674,1	69,0
2	Відокремлений підрозділ «Біогаз Ладижин» Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницька птахофабрика»	3222,1	4,1
3	Приватне акціонерне товариство «Продовольча компанія «Поділля»	2432,2	3,1
4	Філія «Птахокомплекс» Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницька птахофабрика»	2394,7	3,0
5	Товариство з обмеженою відповідальністю «Агрокомплекс «Зелена долина»	1389,1	1,8
6	Товариство з обмеженою відповідальністю «Продовольча компанія «Зоря Поділля»	1196,7	1,5
7	Інші підприємства	13956,1	17,5

Загальний рівень забруднення атмосферного повітря у Вінниці за комплексним індексом забруднення атмосфери (КІЗА) у 2024 році становив 8,12 і характеризувався, як високий. Порівняно з 2023 роком відмічалося не значне підвищення рівня забруднення атмосферного повітря (з 7,89 до 8,12). Разом з тим, у серпні та вересні спостерігалися найвищі індекси забруднення повітря – відповідно 9,6 та 10,6, зокрема через значно підвищену концентрацію формальдегіду (відповідно 3,5ГДКс.д. та 3,8ГДКс.д.) та діоксиду азоту (відповідно 1,6ГДКс.д. та 2ГДКс.д.) (рисунок 1,2,3) [4].

В структурі загальної захворюваності І місце займають хвороби системи кровообігу – 29%, ІІ - хвороби органів дихання – 15%, ІІІ – хвороби кістково-м`язової системи - 14%. У формуванні показника захворюваності хворобами системи кровообігу провідну роль відіграють: гіпертонічна

хвороба, ішемічна хвороба серця та цереброваскулярні хвороби. Зазначені нозології становлять 85% всієї патології даного класу хвороб.

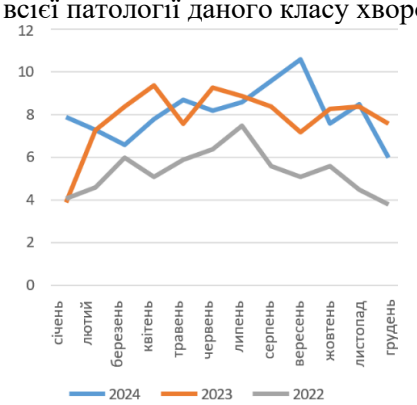


Рис. 1. Порівняння комплексного індексу забруднення атмосфери (КІЗА) у 2022-2024 роках.

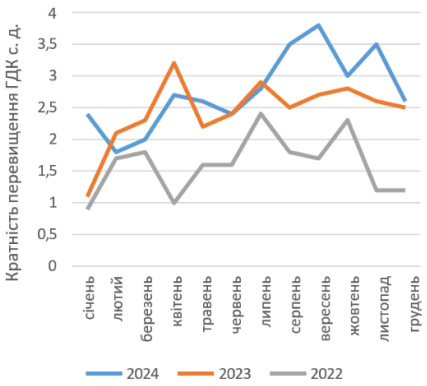


Рис. 2. Середньомісячні концентрації формальдегіду в кратності до ГДК с. д. у 2022-2024 роках

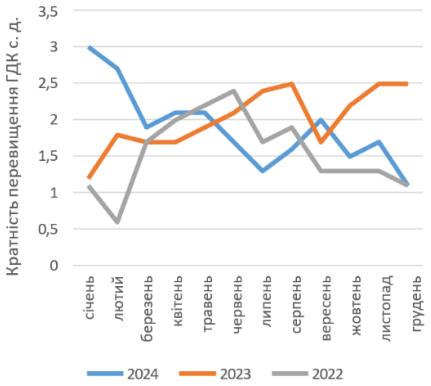


Рис. 3. Середньомісячні концентрації діоксиду азоту в кратності до ГДК с. д. у 2022-2024 роках

В структурі смертності основними причинами є патологія системи кровообігу, злоякісні новоутворення, а також ІІІ місце в структурі смертності посідають хвороби органів дихання.

Оцінюючи динаміку захворюваності у 2025 році, необхідно відмітити, що в цілому загальна захворюваність населення (поширеність) збільшилась за рахунок захворювань всіх класів хвороб. В цілому захворюваність на інфаркт міокарда у 2025 році збільшилась на 11% в порівнянні з 2024 р. – з 13,8 до 15,4 на 10 тис. при одночасному зменшенні смертності від інфарктів [5]. Щороку в 4 осіб з 1000 трапляється інсульт. Смертність від інсультів стабільна та складає 6,0 випадків на 10 тис. Має місце підвищення показника смертей від інсульту в працездатному віці з 6 до 8 на 10 тис. Динаміка захворюваності та смертності вінничан від інфаркту і інсульту представлена на рисунку 4.

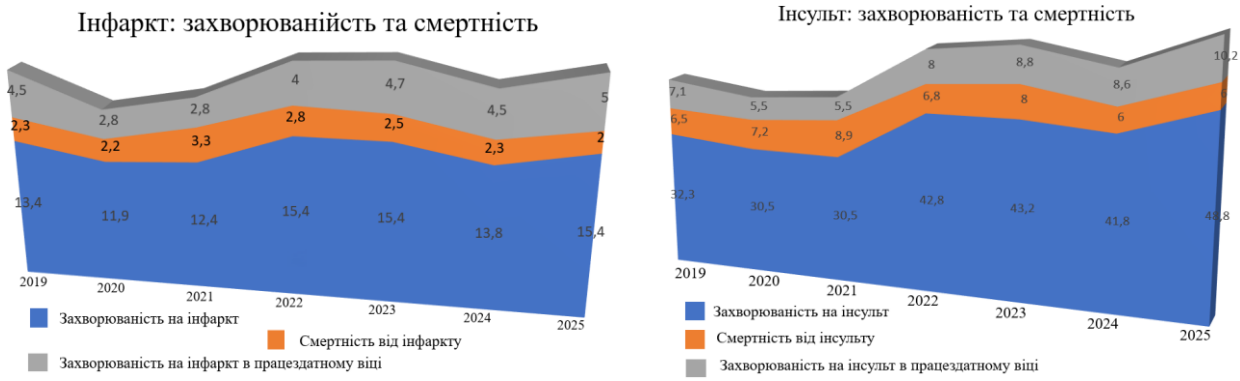


Рис. 4. Захворюваність та смертність вінничан від інфаркту і інсульту [5].

Люди, що проживають в забруднених районах та поблизу автомагістралей, частіше хворіють на хвороби верхніх дихальних шляхів, серцево-судинні захворювання, хвороби очей.

Список літератури:

[1] Забруднення атмосферного повітря: вплив на стан здоров'я населення. / під заг. ред. М. Л. Сорока. ГС «Досить труїти Кривий Ріг» DOI: 10.13140/RG.2.2.15762.43206 https://www.researchgate.net/publication/371701746_Zabrudnenna_atmosfernogo_povitra_vpliv_na_stan_zdorov'a_naselenna

[2] Janne Estill Health impacts and social costs associated with air pollution in larger urban areas of Ukraine (UA) Bielstrasse 2, 3252 Worben, Switzerland https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-03/Health%20impacts%20and%20social%20costs%20associated%20with%20air%20pollution%20in%20larger%20urban%20areas%20of%20Ukraine%20%28UA%29.pdf

[3] Міністерство охорони здоров'я України. (2023). Аналіз показників здоров'я населення, пов'язаних з екологічними факторами. Київ: МОЗ України. https://moz.gov.ua/storage/uploads/386da5b2-66ed-4e85-932c-d9828ba76a7a/%D0%A9%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82-%D0%B7%D0%B0-2023-%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf

[4] Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області у 2023 році. Вінницька обласна військова адміністрація Управління розвитку територій та інфраструктури https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/

[5] Звіт про роботу департаменту охорони здоров`я міської ради за 2025 рік https://www.vmr.gov.ua/departament-okhorony-zdorovia#parentHorizontalTab3

ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ НА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ ВІННИЧЧИНИ

Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна; vntu@vntu.edu.ua

Abstract. Global transformations of the natural environment, caused by intensive anthropogenic and technogenic loads, turn the problem of drinking water quality into one of the most acute and complex challenges for the modern public health system.

Water resources are a key factor in the sanitary and epidemiological well-being of the population. The paper analyzes the environmental factors of surface and groundwater degradation, excessive regulation of river systems, unsatisfactory condition of treatment facilities and agrochemical pollution of waters of the Vinnytsia region.

The complex impact of pollution on the health indicators of the population of the Vinnytsia region for the period 2023–2026 is assessed. The toxicological mechanisms of the impact of xenobiotics on the human body, leading to the development of tissue hypoxia, endocrine disruption and metabolic syndrome, are shown. Modeling of these processes is carried out. The study is part of the creation and implementation of an appropriate system for managing the environmental safety of water resources.

Сучасний гідроекологічний стан водних об'єктів Вінницької області є результатом акумулятивного впливу багаторічного антропогенного пресингу, який призвів до докорінної, іноді незворотної трансформації природних водних екосистем у штучно керовані антропогенні об'єкти. Будь-яке хімічне чи біологічне забруднення поверхневих вод невідворотно призводить до токсикації ґрунтових джерел питної води, які є основою децентралізованого водопостачання для сотень тисяч жителів сільської місцевості та приміських зон Вінниччини. Критичним фактором гідрологічної деградації, який запускає каскад негативних екологічних змін, є надмірна зарегульованість річкових систем. На території Вінницької області споруджено близько 5200 ставків загальним обсягом 266 млн.м^3, площа водного дзеркала яких перевищує 25 тисяч гектарів [1].

На території області функціонує 44 каналізаційних очисних споруди (КОС), абсолютна більшість з яких характеризується критичним рівнем фізичного та морального зношення [1]. Технологічні схеми цих споруд, спроєктовані кілька десятиліть тому, біологічно не здатні ефективно видаляти сполуки азоту амонійного та фосфати. Як наслідок, обсяги скидів забруднюючих речовин зі стічними водами сягають критичних значень.

Поверхневі водні артерії слугують основними рецепторами дифузного забруднення, що генерується агропромисловим комплексом. Масштабне розорювання прибережних захисних смуг та водоохоронних зон, інтенсивне внесення азотних і фосфорних мінеральних добрив, а також широке застосування пестицидів, гербіцидів та інсектицидів супроводжується інтенсивною вітровою та водною ерозією ґрунтів [1]. Високотоксичні сполуки безперешкодно мігрують у ґрунтові водоносні горизонти. Дані багаторічного незалежного моніторингу, проведеного громадською організацією «Екодія» протягом 2021–2026 років, підтверджують безперервне та агресивне надходження нітратів у підземні води басейнів Дніпра та Південного Бугу [2].

Забруднення водних об'єктів ксенобіотиками (чужорідними для організму речовинами) — одна з найгостріших екологічних і медичних проблем. Потрапляючи в організм людини з питною водою або через трофічні ланцюги, наприклад, при вживанні риби, ці речовини запускають складні каскади патологічних реакцій. Довготривалий вплив забрудненої питної води на організм людини має надзвичайно складний, поліморфний та багатовекторний характер. Токсикологічні ефекти реалізуються через механізми гострої та хронічної токсичності, біоакумуляції, мутагенезу, канцерогенезу та ендокринної дисрапції (таблиця 1) [3, 4]. Глибоке розуміння цих фундаментальних біохімічних та фізіологічних шляхів є абсолютно необхідним для коректної побудови та обґрунтованої інтерпретації статистичних математичних моделей захворюваності населення регіону.

Найбільш поширеним, критично небезпечним та хімічно агресивним агентом для сільського та приміського населення Вінницької області є нітрати (NO_3^-). При надходженні в шлунково-кишковий тракт людини з питною водою, нітрати під впливом специфічної мікрофлори, зокрема, ферменту нітратредуктази, перетворюються до значно більш токсичних нітритів (NO_2^-) [5, 6]. Нітрити є високореактивними хімічними сполуками, які швидко всмоктуються в системний кровотік і вступають у пряму, незворотну хімічну реакцію з гемоглобіном еритроцитів.

Біохімічний механізм токсичної дії полягає в інтенсивному окисленні двовалентного заліза (Fe^{2+}), яке міститься у центрі порфіринового кільця гема, до тривалентного стану (Fe^{3+}) [6]. Внаслідок цієї реакції утворюється патологічна форма гемоглобіну — метгемоглобін ($MetHb$) [6]. На відміну від фізіологічного оксигемоглобіну, метгемоглобін повністю втрачає здатність оборотно зв'язувати та транспортувати кисень від легеневих альвеол до тканин периферичних органів. Окрім прямого блокування дихальної функції, наявність у крові метгемоглобіну викликає алостеричні зміни в інтактних молекулах гемоглобіну. Це означає, що той гемоглобін, який залишився неушкодженим, набагато сильніше утримує кисень і відмовляється віддавати його тканинам [4]. У сукупності ці два фактори призводять до розвитку важкої форми гемічної гіпоксії - кисневого голодування на клітинному рівні [6].

Таблиця 1

Характеристика шкідливої дії окремих забрудників води

Забрудники	Гранична концентрація, мг/дм^3				Клас небезпеки	Шкідлива дія у разі надлишку
	ВООЗ	USEPA	ЄС	СанПін		
Алюміній (Al)	0,2	0,2	0,2	0,5	2	Нейротоксична дія
Арсен (As)	0,01	0,05	0,01	0,05	2	Злоякісні пухлини шкіри і легень, ураження ЦНС
Барій (Ba)	0,7	2	0,1	0,1	2	Лейкемія
Залізо (Fe)	0,3	0,3	0,2	0,3	3	Захворювання печінки, крові, сердця, алергія
Кадмій (Cd)	0,003	0,005	0,005	0,001	2	Ниркові розлади, бронхіт, анемія, рак
Калій (K)	-	-	12	-	-	Гіпертонія
Кальцій (Ca)	-	-	100	-	-	Жовчнокам'яна і сечокам'яна хвороба, гіпертонія
Магній (Mg)	-	-	50	-	-	Склероз, гіпертонія
Марганець (Mn)	0,5	0,05	0,05	0,1	3	Ураження ЦНС, захворювання печінки, нирок
Мідь (Cu)	2(1)	1-1,3	2	1	3	Гепатит, анемія
Натрій (Na)	200	-	200	200	2	Гіпертонія, ураження серця, ракові захворювання
Нікель (Ni)	0,02	-	0,02	0,1	3	Хвороби серця, печінки
Нітрати (NO_3)	50	44	50	45	3	Метгемоглобінемія
Нітрити (NO_2)	3	3,3	0,5	3	2	Токсикологічна дія
Ртуть (Hg)	0,001	0,002	0,001	0,0005	1	Порушення функцій нирок, нервової системи
Свинець (Pb)	0,01	0,015	0,01	0,03	2	Дія на ЦНС, репродуктивну систему та нирки, викликає гіпертонію
Селен (Se)	0,01	0,05	0,01	0,01	2	Діє на ЦНС, викликає подразнення слизової оболонки та дерматит
Сульфати (SO_4^{2-})	250	250	250	500	4	Діарея, жовчнокам'яна і сечокам'яна хвороба
Фосфор (P)	-	-	-	0,0001	1	Остеартроз, остеохондроз, артрити, остеопороз та пухлинні процеси
Фториди (P)	1,5	2-4	1,5	1.5	2	Флюороз (руйнування зубів, скелету)
Хлориди ($C1^-$)	250	250	250	350	4	Гіпертензія, порушення серцево-судинної системи: ішемічна хвороба, інсульт, аритмія
Хром (Cr^{3+})	-	0,1	0,05	0,5	3	Розлади печінки та нирок, діє на шкіру та ШКТ
Ціаніди (CN^-)	0,07	0,2	0,05	0,035	2	Ушкодження щитоподібної залози та ЦНС
Цинк (Zn)	3	5	5	5	3	Порушення обмінних функцій
ПАР	-	-	-	500	-	Мутагенна дія
Пестициди	-	-	0,5	400	2	ЦНС, дихальна система, нирки, печінка, рак

Список літератури:

[1] Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області у 2023 році. Вінницька обласна військова адміністрація Управління розвитку територій та інфраструктури https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/

[2] Пятирічний громадський моніторинг якості питної води на ... - LB.ua, доступ отримано червня 11, 2026, https://lb.ua/blog/ecoaction/735448_yakist_pitnoyi_vodi.html

[3] Стан питної води в області: що показали останні дослідження ..., доступ отримано червня 11, 2026, https://suspilne.media/vinnytsia/838059-perevirka-akosti-vodi-na-vinniccini-deaki-vodogoni-ne-vidpovidaut-sanitarnim-normam/

[4] Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2023 р. - Міністерство розвитку громад та територій України, доступ отримано червня 11, 2026, https://mindev.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/nacionalna-dopovid-pro-iakist-pitnoyi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostacannia-ta-vodovidvedennia-v-ukrayini-u-2023-r.pdf

[5] Чому важливі органолептичні показники питної води - Новини, доступ отримано червня 11, 2026, https://vn.cdc.gov.ua/news/chomu-vazhlyvi-organoleptychni-pokaznyky-pytnoyi-vody/

[6] Воднонітратна метгемоглобінемія: небезпека нітратів у питній воді - Новини, доступ отримано червня 11, 2026, https://vn.cdc.gov.ua/news/vodnonitratna-metgemoglobinemiya-nebezpeka-nitrativ-u-pytnij-vodi/

ТЕРЕНДІЙ Я.В., ЖУКОВА О.Г. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ ОЗЕР НА ТЕРИТОРІЇ УРБОЕКОСИСТЕМ

[1,2]Київський національний університет будівництва і архітектури
03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31; y.terendiy@gmail.com

Abstract. The paper considers natural and anthropogenic factors shaping the ecological state of lake ecosystems within urban ecosystems. Natural factors include climatic, lithological and morphometric characteristics of the catchment, while anthropogenic factors are linked to industrial, municipal, agricultural and transport point and diffuse pollution sources, the latter being dominant and harder to control. A generalized algorithm for assessing and managing the ecological safety of urban lake ecosystems is proposed, covering hazard identification, risk and degradation assessment, and management-measure implementation and monitoring.

Забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів вимагає глибокого розуміння формування і функціонування водних екосистем в умовах їх комплексного, зокрема урбанізованого, використання. Необхідно вміти прогнозувати зміни в структурі та функціональній організації озерних екосистем під впливом антропогенних і природних чинників, а також науково обґрунтовувати заходи для попередження можливих негативних змін їх екологічного стану та погіршення якості води. Природно-техногенна безпека озерних екосистем є важливою складовою державного управління екологічною безпекою в контексті збалансованого розвитку. Система управління екологічною безпекою гідроекосистем наразі є недостатньо вивченою, бракує єдиної методологічної бази, яка враховувала б природні (абіотичні) та антропогенні (техногенні) фактори небезпеки одночасно [1]. Мета роботи — систематизувати основні природні й антропогенні чинники формування екологічного стану озер в умовах урбоекосистем та запропонувати узагальнений алгоритм оцінки і забезпечення їх екологічної безпеки.

Незадовільний стан поверхневих вод є, як правило, наслідком тривалих впливів на них, а безпека водних об'єктів досягається шляхом попередження або усунення причин екологічних проблем. Якщо погіршення стану озера спричинене природними змінами, господарська діяльність на водозборі повинна узгоджуватися з природними процесами; якщо ж воно зумовлене антропогенним впливом, вирішення проблеми визначається вибором методів господарювання, впровадженням нових технологій та інженерних рішень для стійкого розвитку зміненої екосистеми. У разі поєднання природних і антропогенних чинників необхідний комплексний підхід, що включає відновлення природного стану об'єкта, зміну напрямків господарської діяльності або її обмеження з урахуванням економічних і соціальних факторів.

Екологічний стан озера формується під впливом кліматичних умов (температура, опади, випаровування), літологічних особливостей водозбору (хімічний склад і стійкість гірських порід до вивітрювання) та морфометричних характеристик басейну і самої водойми (площа, глибина, проточність, тип живлення). Озеро є невід'ємною складовою ландшафту, утворюючи разом з водозбором єдину природну систему, в якій взаємодіють гідрофізичні, гідрохімічні та гідробіологічні процеси; від морфометричних характеристик озера залежать динаміка водної маси, вертикальний температурний розподіл та інші параметри його екологічного стану [2-4].

Через гідрологічний зв'язок озер з іншими водними об'єктами забруднення одного об'єкта здатне погіршувати якість води в суміжних водоймах, що потребує комплексного, науково обґрунтованого дослідження особливостей формування їх екологічного стану (рис. 1) [5].

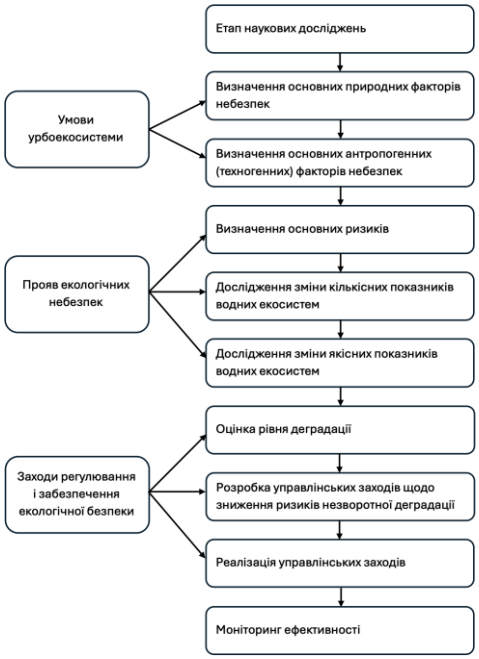


Рис. 1. Алгоритм формування екологічної безпеки озерних екосистем в умовах урбоекосистеми

Основними антропогенними джерелами забруднення озер у межах урбоекосистем є промислові, комунальні, сільськогосподарські та транспортні об'єкти. Точкові джерела (скиди стічних вод) є стабільними за обсягом, мають відоме розташування і піддаються регулярному моніторингу, тоді як дифузні джерела — поверхневий стік з урбанізованих і сільськогосподарських територій, автомагістралей та неканалізованих населених пунктів — є значно менш контрольованими і на практиці справляють істотніший сукупний вплив на якість води. Антропогенне навантаження порушує здатність озерних екосистем до самоочищення й саморегуляції, що зумовлює необхідність системної оцінки ризиків їх деградації.

Промислові підприємства в межах водозбірного басейну є істотним джерелом важких металів у донних відкладах і воді озер: дослідження техногенно навантажених озерних систем підтверджують багаторазове (у десятки разів) зростання вмісту нікелю, міді та інших важких металів у поверхневих шарах донних відкладів унаслідок тривалої гірничодобувної та металургійної діяльності на водозборі, що створює ризик вторинного забруднення водойми [6].

Для забезпечення екологічної безпеки озерних екосистем в умовах урбоекосистем запропоновано узагальнений алгоритм (рис. 1), який передбачає послідовне визначення природних і антропогенних факторів небезпеки, оцінку пов'язаних із ними ризиків, дослідження кількісних і якісних змін водних екосистем, оцінку рівня деградації, розробку та реалізацію управлінських заходів щодо зниження ризиків незворотної деградації з подальшим моніторингом їх ефективності. Такий підхід дає змогу поєднати наукове обґрунтування прийнятих рішень із практичними заходами регулювання екологічної безпеки водних об'єктів на урбанізованих територіях.

Список літератури:

[1] Хвесик, М. А., Степаненко, А. В., & Обиход, Г. О. (2014). Екологічна і природно-техногенна безпека України в регіональному вимірі: монографія. Київ: ДУ Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України, 24–86.

[2] Nehoda, N., Zhukova, O., & Korduba, I. (2024). Environmental aspects of assessing the state of urban ecosystems and public health. Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug, 3(146), 66–72.

[3] Voloshkina, O., Korduba, I., & Zhukova, O. (2023). The relationship of global climate changes and the operation of open cooling systems of energy facilities of Ukraine. Техніка будівництва, 1(38), 51–56.

[4] Жукова, О., & Негода, Н. (2023). Вплив клімату урбанізованої території та основні параметри забудови. Сучасні проблеми архітектури та містобудування, (65), 119–128.

[5] Набеева, Л. Р. (2011). Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Тез. докл. IV междунар. научн. конф., Минск-Нарочь, 105–204.

[6] Dauvalter, V. (2003). Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic lake Kuetsjärvi, Murmansk region, Russia. Journal of Environmental Monitoring, 5(2), 210–215.

ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В., ЗЕЛІНСЬКИЙ Д.В. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ВПЛИВ АЕРОЗОЛЬНИХ ВИКИДІВ ДВЗ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна; vntu@vntu.edu.ua

Abstract. The work considers the composition of exhaust gases from internal combustion engines and the parameters that determine the efficiency of the fuel combustion process. The sources of formation of man-made fine aerosols on highways are analyzed. The scheme of aerosol emissions from internal combustion engines entering the human lungs is shown. The destructive effect of aerosol emissions from internal combustion engines on the human body, in particular on the respiratory, cardiovascular and nervous systems, is described. The research is part of the creation and implementation of an appropriate system for managing the environmental safety of atmospheric air.

У сучасних умовах, на екологічну якість повітря у містах в значній мірі впливають викиди автотранспорту. Частка в забрудненні атмосферного повітря для автотранспорту сягає до 90%. Основними складовими відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння є: вуглекислий газ, монооксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні, альдегіди, сажа, бензопірен, та інші сполуки (табл. 1).

Кількість основних токсичних викидів двигунів у значній мірі залежить від якості процесу згоряння. Протікання та ефективність процесу згоряння обумовлені наступними параметрами:

1) типом двигуна, конструкцією камери згоряння, ступенем згортання, організацією робочого процесу, рівномірністю розподілу суміші по циліндрам;

2) регулюючими пристроями, які відповідають за склад паливно-повітряної суміші, кутом випередження запалювання (вприскування палива), тепловим станом;

3) технічним станом (якістю виготовлення, умовами і тривалістю експлуатації);

4) типом і якістю використовуваного палива;

5) параметрами зовнішнього середовища (температурою, вологістю, тиском, хімічним складом повітря);

6) режимами роботи двигуна (навантаження, частотою обертання, параметрами невстановлених режимів).

Таблиця 1

Склад відпрацьованих газів (ВГ) двигунів внутрішнього згоряння

Компонент ОГ	Концентрація ВГ	
	Бензиновий двигун	Дизель
Азот N_2	74-77%	74-78%
Кисень O_2	0,3-8%	2,0-18%
Водяна пара H_2O	3,0-5,5%	0,5-9,0%
Монооксид карбону CO	0,5-12%	0,005-0,4%
Діоксид карбону CO_2	5,0-12,0%	1,0-12,0%
Оксиди азоту NO_X, в тому числі:	0,01-0,8%	0,004-0,5%
монооксид азоту NO	-	0,004-0,5%
діоксид азоту NO_2	-	0,00013-0,013%
Вуглеводні CH_X	0,2-3,0%	0,009-0,3%
Бенз(а)пірен $C_{20}H_{12}$	0-20 мкг/м^3	0,05-1,0 мкг/м^3
Сажа C	0-0,04 г/м^3	0,01-1,1 г/м^3
Оксиди SO_X, в тому числі:	до 0,008%	0,002-0,02%
діоксид сірки SO_2	-	0,0018-0,02%
триоксид сірки SO_3	-	0,00004-0,0006%
Альдегіди RCHO, в тому числі:	0-0,2%	0,0001-0,002%
Формальдегід H_2CO	-	0,0001-0,0019%
Акролеїн C_3H_4O	-	0,0001-0,00013%

«-» - показник не визначався.

В камері згорання поршневих ДВЗ горить не тільки паливо, але і частина потрапляючого зі стінок циліндра змащувального мастила (розхід мастила на чад). У сучасних двигунах ця величина знаходиться в межах 0,15-0,3% від витрати палива. Неповне згоряння мастила і наявність в ньому оксидів металів, що входять в різні присадки, додатково збільшують токсичність ВГ двигуна.

Автотранспорт із ДВЗ є головним джерелом забруднення повітря у великих містах, оскільки постачає «будівельний матеріал» для смогу прямо в приземний шар атмосфери, яким дихають люди (рис. 1). ***Хімічний склад транспортного смогу*** — це складна суміш газів, дрібних твердих часток і крапель води. Рух автомобілів по дорогах є також значущим техногенним джерелом утворення дрібнодисперсних аерозолів [1]. Висока турбулентність повітряних потоків, обумовлена рухом транспорту на автомагістралях, сприяє вторинному забрудненню повітря дрібнодисперсними аерозольними частинками, які утворюються в результаті стирання дорожніх покриттів, автомобільних шин, гальмівних колодок, а також викидів вихлопних систем. Хімічний склад і кількість пилу залежать від матеріалів дорожнього покриття. Найбільша кількість пилу створюється на ґрунтових і гравійних дорогах. Дороги з гравійним покриттям утворюють пил, що складається в основному з діоксиду кремнію. У містах на дорогах з асфальтобетонним покриттям до складу пилу додатково входять продукти зносу в'яжучих бітумвмісних матеріалів, частинки матеріалів від ліній розмітки дороги.

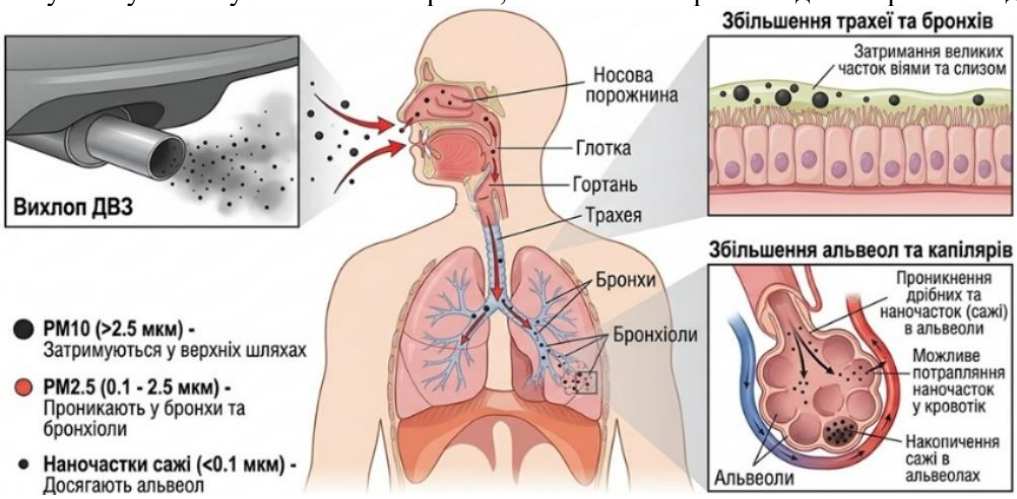


Рис.1. Схема потрапляння аерозольних викидів ДВЗ у легені людини

Головну загрозу становлять ультрадисперсні тверді мікрочастинки аерозолю PM2.5, які через свої ультрамалі розміри безперешкодно проходять крізь природні фільтри організму та розносять токсичні речовини (включно з бенз(а)піреном) по всіх органах організму людини. Руйнівний вплив аерозолів ДВЗ (особливо дизельних двигунів) класифікуються ВООЗ, як канцерогени першої групи [2].

Аерозольні викиди двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) мають системний руйнівний вплив на організм людини, ушкоджуючи насамперед дихальну, серцево-судинну та нервову системи.

Дихальна система людини страждає через запалення, спазми, руйнування альвеол і онкологію. Великі частки PM10 осідають у носоглотці та трахеї, викликаючи хронічний бронхіт, ларингіт та напади астми. Часточки PM2.5 проникають у найглибші відділи легень, знижуючи їхній об'єм та провокуючи емфізему. Накопичений на поверхні сажі бенз(а)пірен безпосередньо ушкоджує ДНК клітин, викликаючи рак легень.

Серцево-судинна система людини страждає на тромбоз, атеросклероз, інфаркти та інсульти. Ультрадисперсні частки аерозолів проникають крізь альвеолярну мембрану безпосередньо у кров. Вони викликають мікрозапалення судин, що прискорює утворення атеросклеротичних бляшок. Викиди ДВЗ порушують тонус судин та згущують кров, що різко підвищує ризик гострих серцевих нападів.

Центральна нервова система людини отримує нейрозапалення та дегенерацію. Через нюхові нерви найдрібніші частки аерозолю здатні потрапляти безпосередньо в головний мозок. Тривалий вплив пов'язують із прискоренням розвитку хвороб Альцгеймера та Паркінсона, а також зниженням когнітивних здібностей у дітей. Репродуктивна система зазнає впливу токсичних компонентів аерозолю, які долають плацентарний бар'єр, що може призвести до гіпоксії плоду, передчасних пологів або затримки розвитку дитини.

Список літератури:

[1] І. В. Васильківський, Д. В. Зелінський Аналіз аерозольного забруднення Вінниці. ВНТКП ВНТУ. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії; LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025) Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24422

[2] Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon : World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 2014. Vol. 105. 700 p.

МАЦ А.Д., МІТРЯСОВА О.П. (УКРАЇНА, МИКОЛАЇВ)

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ БУЗЬКОГО ЛИМАНУ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ ІНДЕКСАМИ У GOOGLE EARTH ENGINE

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
52003, вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, Україна; eco-terra@ukr.net

Abstract. Monitoring the environmental state of aquatic resources under growing anthropogenic pressure and global climate change is critical for preserving ecosystem stability. Using the Google Earth Engine platform, the dynamics of spectral indices for the Bug Estuary were analyzed over the period 1984–2024 using Landsat and Sentinel-2 satellite imagery. The derived data indicate a steady decline in the BLUE and GREEN indices, pointing to reduced water clarity, increased turbidity, and higher pollution levels. An additional integrated criterion for ecological assessment was the study of the normalized difference vegetation index (NDVI). The long-term NDVI dynamics display a pronounced downward trend with significant fluctuations starting from the early 2000s. These findings confirm the degradation of aquatic and coastal vegetation, the intensification of eutrophication, and the disruption of hydroecosystem stability. Ultimately, the observed negative changes are driven by the combined effects of anthropogenic stressors and climatic factors, threatening overall aquatic biodiversity.

Моніторинг екологічного стану водних ресурсів за умов зростаючого антропогенного навантаження та глобальних кліматичних змін є критично важливим завданням для збереження біорізноманіття водних екосистем.

Засобами платформи Google Earth Engine проаналізовано динаміку спектральних індексів Бузького лиману за період 1984–2024 рр. з використанням супутникових знімків Landsat та Sentinel-2. Отримані дані свідчать про стале зниження показників BLUE та GREEN, що вказує на зменшення прозорості води, зростання мутності та підвищення рівня її забруднення.

Додатковим інтегрованим критерієм екологічного стану стало дослідження вегетаційного індексу NDVI (рис. 1). Його динаміка демонструє виражений спадний тренд із суттєвими коливаннями з початку 2000-х років. Це підтверджує деградацію водної та прибережної рослинності, активізацію процесів евтрофікації й порушення стабільності гідроекосистеми. Виявлені зміни є наслідком сукупного впливу антропогенних чинників (промислові скиди, урбанізація) та кліматичних факторів, зокрема зростання температури води й солоності, що загрожує скороченням біорізноманіття.

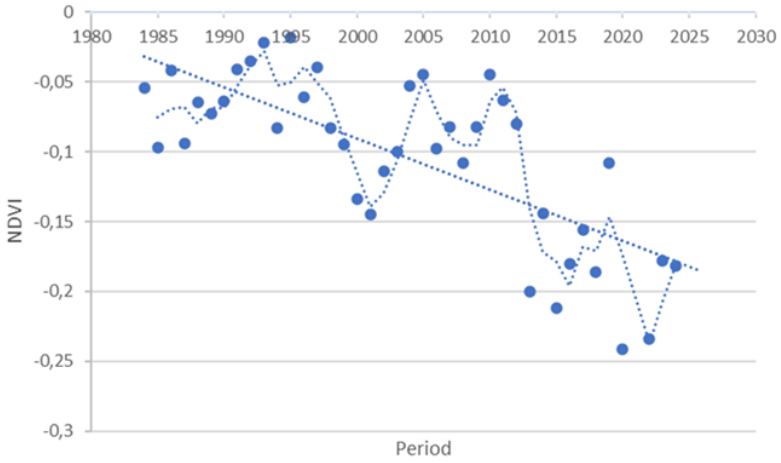


Рис. 1. NDVI індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205)

HALAK S., BEZVERKHA A., SEMASHKO P., GOTS O. (UKRAINE, KYIV)

SPATIAL DISTRIBUTION OF ROAD TRAFFIC NOISE IN CITIES: IMPLICATIONS FOR URBAN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

State Institution "Marzieiev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine"
50 Pavlo Polubotka Hetman St., Kyiv, 02094, Ukraine; ssgalak@gmail.com

Abstract. Road traffic noise is an important component of urban environmental pollution and shows considerable spatial variation depending on local road and traffic conditions. This study assessed the spatial distribution of road traffic noise at 21 monitoring sites in Kyiv and Brovary, Ukraine. Equivalent continuous sound levels (L_{Aeq}) ranged from 66.7 to 82.0 dBA, with a mean value of 72.8 ± 3.9 dBA. Although the mean L_{Aeq} was higher in Kyiv than in Brovary, the difference between the cities was not statistically significant. The findings indicate that local characteristics of individual road sections may be more relevant to acoustic burden than city-level administrative differences. Spatially differentiated noise monitoring can support the identification of acoustically burdened areas, urban noise mapping, and the planning of targeted environmental management measures.

Road traffic is one of the major sources of environmental noise in urbanized areas and represents an important challenge for urban environmental management. Environmental noise affects the quality of the urban environment and may contribute to adverse health and well-being outcomes in exposed populations (World Health Organization Regional Office for Europe, 2018). At the same time, road traffic noise is spatially heterogeneous because its levels depend on local traffic characteristics, road configuration, and features of the surrounding built environment (Guarnaccia et al., 2024). Therefore, assessment based only on city-wide average indicators may fail to identify individual road sections characterized by elevated acoustic burden.

Spatially distributed environmental monitoring is an important component of contemporary urban noise management. Identification of locations with different acoustic conditions provides a basis for noise mapping, prioritization of mitigation measures, transport planning, and evaluation of the environmental consequences of urban infrastructure development (Ranpise & Tandel, 2022). In the context of urban environmental management, such information is particularly relevant for identifying areas where preventive interventions may provide the greatest environmental and public health benefits.

The aim of this study was to assess the spatial variability of road traffic noise in urban environments using Kyiv and Brovary as case studies and to evaluate the implications of the observed patterns for environmental monitoring and urban noise management.

An observational field study was conducted from 15 April to 5 June 2026 at 21 monitoring sites, including 11 sites in Kyiv and 10 sites in Brovary. The monitoring locations were situated adjacent to urban roads characterized by different traffic conditions and numbers of traffic lanes. The investigated road sections had asphalt concrete pavement, two to six traffic lanes, and no substantial road gradients.

Noise measurements were performed during the daytime period from 07:00 to 17:00 using an SVANTEK SV 977D sound level meter and spectrum analyzer with Class 1 accuracy. Measurements were conducted in accordance with DSTU ISO 1996-2:2019. At each monitoring site, the equivalent continuous A-weighted sound level (L_{Aeq}) was recorded during a 15-minute measurement period. The microphone was positioned at a height of 1.5 m above ground level and at a distance of 7.5 m from the centreline of the nearest traffic lane. Measurements were conducted under dry weather conditions without precipitation.

To improve comparability between monitoring locations, the field measurements were performed under standardized meteorological and instrumental conditions. Acoustic calibration was carried out before and after each measurement session, and the microphone was equipped with a windscreen. Measurements were conducted under dry weather conditions; air temperature ranged from 3 to 26 °C and wind speed from 2.3 to 4.9 m/s. These conditions reduced the potential influence of adverse weather on the recorded sound levels and strengthened the consistency of the spatial comparisons among monitoring sites.

The results demonstrated considerable spatial variability in road traffic noise levels. Across all monitoring sites, L_{Aeq} ranged from 66.7 to 82.0 dBA, while the overall mean value was 72.8 ± 3.9 dBA. The highest equivalent sound levels were recorded at monitoring locations adjacent to multilane arterial roads characterized by intensive traffic. In contrast, lower values were observed at a number of road sections with less intensive local traffic conditions.

The spatial distribution of measured levels indicates that acoustic conditions may vary substantially even within the same urban area. This observation is important for environmental management because city-level

average values cannot fully represent the acoustic conditions experienced at individual locations. Consequently, environmental noise assessment should incorporate a sufficiently dense network of monitoring sites covering roads with different functional and traffic characteristics.

The mean L_{Aeq} in Kyiv was 73.7 ± 4.8 dBA, compared with 71.9 ± 2.7 dBA in Brovary. Despite the difference in city size and urban structure, the difference in mean noise levels between the two cities was not statistically significant ($p = 0.31$). This finding suggests that the administrative status or size of a city alone may not adequately characterize local road traffic noise conditions. Instead, acoustic burden appears to be strongly dependent on the characteristics of individual road sections and their immediate traffic environment.

An additional implication of the observed spatial heterogeneity is that environmental noise management should be based on the characteristics of specific road corridors rather than on generalized assumptions about the acoustic situation of an entire city. The measured range of 15.3 dBA between the lowest and highest L_{Aeq} values demonstrates that road sections within the same urban system may differ markedly in acoustic burden. From a management perspective, this supports a tiered approach in which initial screening identifies locations with comparatively high sound levels, followed by more detailed long-term monitoring and site-specific evaluation of mitigation options. Such an approach may improve the allocation of monitoring resources and help focus interventions on locations where they are most needed.

These results have practical implications for urban environmental management. First, environmental noise surveillance should prioritize spatially differentiated monitoring rather than reliance solely on aggregated city-level indicators. Second, monitoring data can support the identification of local acoustic hotspots and provide input for the development and updating of urban noise maps. Third, integration of acoustic monitoring with transport and spatial planning may help prioritize road sections for environmental interventions.

Potential management measures may include optimization of transport flows, modification of traffic organization, improvement of road infrastructure, consideration of acoustic conditions in land-use planning, and protection of residential and other noise-sensitive areas. Such interventions should be selected on the basis of site-specific environmental information because the observed spatial heterogeneity indicates that uniform city-wide approaches may be less effective than targeted measures.

Future development of this work should include repeated measurements across different seasons and times of day, expansion of the monitoring network, and integration of acoustic observations with geospatial information on road infrastructure and surrounding land use. Combining field measurements with urban noise mapping would allow the spatial patterns identified in this study to be assessed more comprehensively and could support evaluation of alternative traffic-management or planning scenarios. This would strengthen the use of acoustic data as an evidence base for urban environmental decision-making.

The study has several limitations. Measurements were conducted during the daytime and represented short-term acoustic conditions at selected monitoring sites. Seasonal and long-term temporal variability was not assessed, and factors such as vehicle speed, detailed road-surface characteristics, and surrounding urban geometry were not incorporated into the spatial analysis. Therefore, the results should be interpreted as a field-based characterization of current acoustic conditions rather than as an estimate of long-term population noise exposure.

In conclusion, road traffic noise demonstrated substantial spatial variability across the investigated urban monitoring sites, with L_{Aeq} values ranging from 66.7 to 82.0 dBA. The absence of a statistically significant difference between the mean noise levels in Kyiv and Brovary indicates that local road and traffic conditions may be more relevant to acoustic burden than city-level administrative characteristics. Spatially differentiated acoustic monitoring can therefore provide an important evidence base for urban noise mapping, identification of priority intervention areas, and the development of targeted measures within urban environmental management.

References:

1. Guarnaccia, C., Mascolo, A., Aumond, P., Can, A., & Rossi, D. (2024). From early to recent models: A review of the evolution of road traffic and single vehicles noise emission modelling. Current Pollution Reports, 10, 662–683. https://doi.org/10.1007/s40726-024-00319-5

2. Ranpise, R. B., & Tandel, B. N. (2022). Urban road traffic noise monitoring, mapping, modelling, and mitigation: A thematic review. Noise Mapping, 9(1), 48–66. https://doi.org/10.1515/noise-2022-0004

3. World Health Organization Regional Office for Europe. (2018). Environmental noise guidelines for the European Region. WHO Regional Office for Europe.

МАГАСЬ Н.І. (УКРАЇНА, МИКОЛАЇВ)

СЕЗОННЕ СКОРОЧЕННЯ ВІДКРИТОЇ ВОДИ ТА ЗМІНА ОПТИЧНОГО СТАНУ ОЗЕРА СОЛОНЕЦЬ-ТУЗЛИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, просп. Героїв України, 9, Миколаїв, 54007, Україна; natalya.magas@nuos.edu.ua

Abstract. Lake Solonets-Tuzly is a shallow hypersaline coastal lake with strong seasonal changes in water cover. Sentinel-2 observations for 2025–2026 were used to delineate open water with the Normalized Difference Water Index (NDWI) and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), and to track optical changes with the Normalized Difference Turbidity Index (NDTI). Median open-water area decreased from 3.542 km² in spring to 2.888 km² in summer, while median NDTI increased from −0.058 to 0.021. The area–NDTI relationship ($\rho = -0.719$) shows that seasonal contraction coincided with a systematic change in red–green spectral contrast. NDTI is treated as a relative optical descriptor, not a direct turbidity measure.

Озеро Солонець-Тузли — мілководна гіпергалінна прибережна водойма лиманного походження, водний покрив якої помітно змінюється протягом року. Сезонне скорочення відкритої води звужує водну частину озера і посилює вплив мілководдя, оголеного засоленого дна та прибережних перехідних поверхонь. Тому важливо не лише фіксувати зміну площі води, а й простежувати, як разом із нею змінюється оптичний стан збереженої водної частини. Одним із перспективних підходів є супутниковий моніторинг за спектральними індексами, який дає змогу одночасно картувати відкриту воду та виявляти зміни її спектральних властивостей [1–5].

Метою дослідження було кількісно охарактеризувати сезонне скорочення відкритої води озера Солонець-Тузли та оцінити інформативність спектральних індексів для виявлення пов’язаних із ним змін оптичного стану води. Для аналізу використано дані мультиспектрального інструмента (MultiSpectral Instrument, MSI) Sentinel-2 рівня Level-2A за період від 1 січня 2025 р. до 14 липня 2026 р. Після контролю якості із 66 унікальних календарних дат для оптичного аналізу відібрано 55 дат із надійно виділеною відкритою водою.

Відкриту воду виділяли за нормалізованим різницевим водним індексом (Normalized Difference Water Index, NDWI) і модифікованим нормалізованим різницевим водним індексом (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) [1, 2]. Щоб зменшити помилкове віднесення ропи та вологого засоленого дна до води, додатково враховували відбиття у видимому діапазоні та звужували водну маску на один піксель. У межах підтвердженої відкритої води розраховували нормалізований різницевий індекс каламутності (Normalized Difference Turbidity Index, NDTI) [3]. Його використовували як відносну характеристику червоно-зеленого спектрального контрасту, а не як пряму оцінку каламутності у фізичних одиницях [4, 5].

Основним сезонним процесом було скорочення водного покриву озера. Медіанна площа підтвердженої відкритої води зменшилася з 3,542 км² навесні до 2,888 км² улітку; сезонний ефект для площі становив $\eta^2H = 0{,}487$. Контрастні дати показують масштаб цієї зміни: 27 лютого 2025 р. площа відкритої води становила 3,663 км², 24 серпня — 2,035 км², а 14 липня 2026 р. — 1,575 км². Отже, супутникові дані фіксують не окремі коливання, а стійкий перехід від розширеного водного стану до літнього скорочення.

Разом зі скороченням водної поверхні змінювався і спектральний сигнал води, що зберігалася в центральній частині озера. Медіанний NDTI зріс від −0,058 навесні до 0,021 улітку, а сезонний ефект для індексу становив $\eta^2H = 0{,}466$. Зменшення площі відкритої води супроводжувалося зростанням NDTI ($\rho = -0{,}719$; $p < 0{,}001$), причому напрям цього зв’язку зберігався після врахування часової залежності спостережень. Отриманий результат підтверджує, що сезонне скорочення водного покриву пов’язане зі стійкою зміною червоно-зеленого спектрального контрасту збереженої водної частини.

Для мілководного гіпергалінного озера така спектральна перебудова має зрозумілий екологічний контекст. У міру відступу води на супутниковий сигнал можуть сильніше впливати мілководдя, донний субстрат і завислий дрібнодисперсний матеріал [4, 5]. Ці складові неможливо надійно розділити лише за супутниковими даними. Тому зростання NDTI свідчить про зміну оптичних умов у скороченій водній частині, але не доводить прямого збільшення каламутності або концентрації завислих речовин.

Зіставлення окремих станів показує, що площа води не є єдиним чинником оптичних змін. NDTI зріс від −0,286 27 лютого 2025 р. до 0,109 24 серпня після істотного скорочення відкритої води. 14 липня 2026 р. площа була ще меншою, однак NDTI становив 0,095. Отже, подальше зменшення водної

площі не супроводжувалося пропорційним зростанням індексу. Це вказує на участь інших чинників, пов'язаних із глибиною води, станом дна та властивостями завислого матеріалу.

Сезонне скорочення водної поверхні відбувалося на тлі зростання атмосферного попиту на випаровування. NDTI був тісно пов'язаний із 30-добовим середнім дефіцитом тиску водяної пари (ρ = 0,899), 30-добовою середньою температурою повітря (ρ = 0,892) та 90-добовою сумою потенційної евапотранспірації (ρ = 0,875). Ці зв'язки підтверджують, що зміни водного покриву й оптичного стану припадали на перехід до тепліших умов із вищим випаровувальним попитом. Водночас кореляції не дають змоги відокремити внесок кожного метеорологічного чинника. Такий фон узгоджується з посиленням випаровувальної складової водного балансу в теплий період. Внесок опадів, підземного живлення та локального водообміну окремо оцінити неможливо. Супутникові спостереження тут характеризують просторовий прояв змін водності, але не відтворюють повний водний баланс озера.

Весняно-літня послідовність змін повторилася в обох роках спостережень. І скорочення відкритої води, і підвищення NDTI статистично підтвердилися окремо для 2025 і 2026 рр. Це підсилює висновок, що виявлена закономірність відображає повторюваний сезонний процес, а не особливість кількох окремих дат. Тому окреме значення NDTI доцільно розглядати в часовій послідовності разом із площею відкритої води.

Надійне відокремлення відкритої води було необхідною умовою такої інтерпретації. NDWI та MNDWI використовували насамперед для картування водної поверхні перед аналізом NDTI, а не як самостійні показники екологічного стану. Зміна мінімального порога площі від 0,02 до 0,10 км² не змінила склад 55 відібраних дат. Отже, вибір спостережень був стійким до близьких значень цього порога, хоча така перевірка не замінює незалежної польової валідації водної маски.

З екологічного погляду важливо, що просторове скорочення водного покриву та оптична перебудова води змінювалися узгоджено, але не пропорційно. Отже, сезонна трансформація озера не зводиться до простого зменшення його площі. Разом зі зміною конфігурації відкритої води перебудовуються умови формування спектрального сигналу в тій частині водойми, що залишається затопленою. Найсильніше скорочені стани мали близькі, але не однакові значення NDTI, що підтверджує комплексний характер гідроекологічних змін і обмежує використання одного спектрального показника як універсальної характеристики стану озера.

Для екологічного моніторингу доцільно поєднувати картування відкритої води з аналізом NDTI після виключення спектрально подібних засолених поверхонь. Площа відкритої води показує просторовий масштаб сезонного скорочення, а NDTI дає змогу простежити супутню зміну оптичних умов у воді, що зберігається. Спільний аналіз цих характеристик допомагає відрізняти просте геометричне скорочення від станів, у яких воно супроводжується вираженою спектральною перебудовою. Такий підхід придатний для регулярного дистанційного контролю сезонно мінливих мілководних водойм і вибору дат для цільових польових спостережень. Для з'ясування механізмів виявлених змін потрібні синхронні вимірювання глибини, солоності, каламутності та концентрації завислих речовин.

Список літератури:

1. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714
2. Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27(14), 3025–3033. https://doi.org/10.1080/01431160600589179
3. Lacaux, J.-P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., & Lafaye, M. (2007). Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. Remote Sensing of Environment, 106(1), 66–74. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012
4. Matthews, M. W. (2011). A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. International Journal of Remote Sensing, 32(21), 6855–6899. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.512947
5. Sagan, V., Peterson, K. T., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B. A., Maalouf, S., & Adams, C. (2020). Monitoring inland water quality using remote sensing: Potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. Earth-Science Reviews, 205, 103187. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103187

МАГАСЬ Н.І. (УКРАЇНА, МИКОЛАЇВ)

ГІДРОЛОГІЧНІ ЗМІНИ І ПРОСТОРОВА УЗГОДЖЕНІСТЬ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ РЕКРЕАЦІЙНИХ ВОД МИКОЛАЄВА

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, просп. Героїв України, 9, Миколаїв, 54007, Україна; natalya.magas@nuos.edu.ua

Abstract. Fifteen paired sampling dates at the Namyv and Chaika recreational sites in 2023 were analysed together with June water-level and salinity records from the Dnipro–Bug Liman. A sharp early-season rise in water level and freshening formed the regional hydrological background. Chaika showed consistently higher twenty-day biochemical oxygen demand, while Namyv had higher chloride and sulfate concentrations. Despite these local hydrochemical contrasts, microbiological status was identical at both sites, with lactose-positive coliform exceedances on 14 of 15 dates. The results support synchronous microbiological monitoring of connected recreational waters.

Рекреаційні акваторії Миколаєва розташовані в зоні взаємодії річкових і лиманних вод, тому їхній стан формується одночасно регіональним водообміном і локальними джерелами навантаження. Зміни рівня, солоності та перемішування можуть швидко перебудовувати гідрохімічні умови, а мікробіологічне забруднення має власну просторово-часову динаміку. Для оцінювання придатності води для рекреації ці процеси важливо розглядати окремо: сприятливий кисневий режим або природна солонуватість не замінюють прямого мікробіологічного контролю. Такий підхід відповідає сучасним принципам ризик-орієнтованого моніторингу рекреаційних вод [1].

Метою дослідження було встановити, як упродовж рекреаційного сезону поєднувалися регіональні гідрологічні зміни, локальна гідрохімічна неоднорідність і мікробіологічний стан двох просторово пов’язаних ділянок — рекреаційної зони «Намив» і пляжу «Чайка». У роботі зіставлено результати спільних відборів, виконаних 15 разів у період від 8 червня до 4 вересня 2023 р. Для характеристики регіонального фону використано середньодобові рівні води та солоність на постах Очаків і Парутине. Синхронний відбір проб дав змогу зіставляти ділянки в однакові дати та відокремити стійкі просторові відмінності від спільних сезонних змін.

Початок сезону припав на різку перебудову водного режиму лиманної системи. У першу декаду червня рівень води піднявся відносно середнього за 1–5 червня на 71,6 см в Очакові та на 93,4 см у Парутиному. Одночасно в Парутиному середня солоність зменшилася з 3,19‰ до 0,72‰ упродовж 9–11 червня, а мінімум 0,63‰ зафіксовано 23 червня. Максимальне відносне зниження становило 80,3%. До кінця місяця солоність частково відновилася до 1,76‰, але залишалася нижчою за початковий рівень. Таке поєднання підвищення рівня й опріснення вказує на суттєву зміну умов змішування водних мас на початку рекреаційного сезону.

Цей гідрологічний фон не можна безпосередньо переносити на «Намив» і «Чайку», оскільки рівень і солоність вимірювали на віддалених постах. Проте він важливий для екологічної інтерпретації сезонного ряду: перші відбори виконували саме в період найбільших регіональних змін. Наявні дані не дозволяють пов’язати окремі лабораторні результати з однією конкретною гідрологічною подією. Вони лише показують, що досліджувані рекреаційні води функціонували в умовах нестабільного водообміну та змінного сольового режиму.

Хронологія перших відборів не підтримує простого пояснення, за яким регіональне підвищення рівня одразу визначило мікробіологічний стан міських пляжів. 8 червня, поблизу максимуму рівня, ЛКП на обох ділянках ще не перевищували скринінговий орієнтир; перше синхронне перевищення зафіксовано 12 червня. Така затримка може бути пов’язана з перенесенням водних мас, повторними надходженнями домішок або локальними джерелами, однак наявні дані не дозволяють розрізнити ці механізми. Тому гідрологічні зміни слід розглядати як важливий фон сезону, а не як доведену причину мікробіологічної невідповідності.

На цьому тлі дві ділянки мали різні локальні гідрохімічні профілі. Найпослідовніша відмінність стосувалася біохімічного споживання кисню за 20 діб ($БСК_{20}$), яке характеризує потенціал біохімічного окиснення органічної речовини. Медіана $БСК_{20}$ на «Чайці» становила 25,00 мг O_2/дм³, на «Намиві» — 15,36 мг O_2/дм³. Для 15 парних дат медіана різниці «Чайка мінус Намив» дорівнювала +5,60 мг O_2/дм³; після поправки на множинні порівняння різниця залишилася статистично значущою ($p = 0{,}008$), а величина ефекту була високою. Отже, підвищене окиснюване органічне навантаження на «Чайці» було повторюваною особливістю сезону, а не наслідком кількох одиничних проб.

Іонно-сольовий профіль мав інший просторовий напрям. На «Намиві» медіанні концентрації хлоридів становили 3305 мг/дм³ проти 2670,5 мг/дм³ на «Чайці», сульфатів — 531,85 проти 404,20

мг/дм³. Обидві відмінності були статистично підтверджені. У гирлово-лиманній акваторії такий контраст насамперед відображає різне співвідношення річкової й лиманної складових та локальні особливості водообміну. Тому вищу мінералізацію «Намиву» не можна автоматично трактувати як сильніше антропогенне забруднення або як більший санітарний ризик.

Важливим результатом стало розходження між гідрохімічною неоднорідністю та мікробіологічним станом. Основним архівним санітарним показником були лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП). Для ретроспективної скринінгової оцінки використано чинний у 2023 р. орієнтир 5000/дм³ [2]. На стартовій даті 8 червня обидві проби залишалися нижче цього орієнтира. Починаючи з 12 червня і до завершальної серії 4 вересня, усі 14 наступних пар проб одночасно мали перевищення на «Намиві» й «Чайці». Частка несприятливих дат становила 93,3% для кожної ділянки.

Просторова узгодженість цього сигналу була повною: бінарний статус «відповідає / не відповідає» збігався в усіх 15 парах спостережень, а коефіцієнт к Коена дорівнював 1,00. Це не доводить однакових концентрацій і не вказує на спільне джерело забруднення, проте показує, що несприятливий мікробіологічний статус проявлявся синхронно на обох рекреаційних ділянках. Саме тому локальні відмінності мінералізації та $БСК_{20}$ не можна використовувати для непрямого ранжування пляжів за мікробіологічним станом. Для урбанізованих естуаріїв необхідність поєднувати мікробіологічні результати з гідрологічними та локальними характеристиками підтверджена й іншими дослідженнями [3].

Показовим є також співвідношення кисневого режиму та санітарного стану. У всіх 30 пробах концентрація розчиненого кисню залишалася вище 4 мг O_2/дм³, тобто денного дефіциту кисню не зафіксовано. Водночас після 8 червня всі 28 проб з двох ділянок мали перевищення ЛКП. Отже, достатній вміст кисню в момент відбору не був ознакою мікробіологічної безпечності. Подібно, природно зумовлений іонно-сольовий контраст не визначав частоту несприятливого мікробіологічного статусу.

Сезонний ряд показав два різні масштаби екологічної мінливості. Локальний рівень проявився у стійких відмінностях органічного навантаження та іонно-сольового складу між «Намивом» і «Чайкою». Просторово ширший рівень проявився у синхронній повторюваності мікробіологічної невідповідності. Така структура важлива для моніторингу: гідрохімічні показники допомагають описати локальні умови функціонування акваторії, але рішення щодо санітарної придатності має спиратися на прямі мікробіологічні визначення.

Висока повторюваність несприятливого статусу не означає безперервного забруднення протягом усього проміжку між відборами. Спостереження були дискретними, тому висновок стосується саме дат контролю. Крім того, ЛКП є архівним індикатором і не тотожні сучасному кількісному визначенню Escherichia coli; доступний масив не містив повного ряду кишкових ентерококів. Отже, результати не є офіційною довгостроковою класифікацією води для купання та не дозволяють кількісно оцінити індивідуальний ризик захворювання.

Для встановлення причин синхронності потрібен наступний рівень моніторингу: дані про опади, зливові й каналізаційні випуски, локальні течії, рівень і солоність безпосередньо біля пляжів. Мікробіологічні спостереження доцільно вести за Escherichia coli та кишковими ентерококами. Це дозволить перевіряти можливі джерела й шляхи перенесення забруднення, а не лише фіксувати повторюваний статус.

Для практичного екологічного моніторингу ключовим є поєднання двох рівнів спостережень. На просторово пов’язаних ділянках доцільно проводити синхронний мікробіологічний контроль і оперативно повторювати відбір після несприятливого результату. Локальні вимірювання солоності, рівня, напрямів водообміну та показників органічного навантаження потрібні для з’ясування механізмів формування відмінностей між пляжами. Така схема дозволить перейти від фіксації повторюваного санітарного сигналу до встановлення його джерел і шляхів поширення.

References

1. World Health Organization. (2021). Guidelines on recreational water quality: Volume 1. Coastal and fresh waters. Geneva: WHO. https://www.who.int/publications/i/item/9789240031302

2. Міністерство охорони здоров’я України. (2022). Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об’єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення: наказ від 02.05.2022 № 721 (редакція, чинна у 2023 р.). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22/ed20230222

3. Lloyd, S. D., Carvajal, G., Campey, M., Taylor, N., Osmond, P., Roser, D. J., & Khan, S. J. (2024). Predicting recreational water quality and public health safety in urban estuaries using Bayesian networks. Water Research, 254, 121319. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121319

ХЛОБИСТОВ Є.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ СКОРОЧЕННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЛЯ ПОСТРАЖДАЛИХ ВІД ВІЙНИ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Григорія Сковороди, 2, м. Київ, 04655, Україна, ievgen.khlobystov@ukma.edu.ua

Abstract. The paper examines approaches to and specific features of identifying the long-term (delayed-in-time) consequences of the reduction of ecosystem services for Ukraine's war-affected territories, and substantiates a framework for valuing this reduction under different models of post-war economic development. Particular attention is given to the structure and professional competencies of the population in war-affected and de-occupied territories as a basis for identifying the optimal economic model of regional development.

Екосистемні послуги являють собою сукупне значення впливу природних ресурсів та довкілля на людину та все форми її життєдіяльності: виробничу, соціальну, фізіологічну тощо. Скорочення екосистемних послуг — результат зміни в структурі та складі екосистем. Ці зміни можуть бути спричинені різними факторами, серед яких війна є найбільш карколомним фактором впливу на довкілля та природні ресурси. Динаміка скорочення екосистемних послуг може відслідковуватися через натурні дослідження та ймовірнісну оцінку, через аналіз загального характеру збитків та комплексного визначення заподіяної шкоди.

Для широкого обговорення був запропонований урядом Проект «Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері управління екосистемними послугами на період до 2030 року» [1], в якому зазначено, що нагальність державної політики в сфері екосистемних послуг зумовлено, зокрема, «відсутністю економічної оцінки (у грошовому еквіваленті) природного капіталу та його екосистемних послуг як об'єкта управління та підставу для прийняття управлінських рішень». Однак, в цьому документі не враховуються віддалені наслідки від скорочення екосиситемних послуг та їх грошова інтерпретація. Грошова інтерпретація ексистемних послуг давно було об'єктом дослідження економіки природокористування. Зокрема, з класичних робіт Германа Едварда Дейлі, Роберта Констанци, Денніса Медоуза та ін. до сучасності — проблематика визначення вартості екосистемних послуг залишалась в межах теоретичних розвідок і дуже обережно визначалися конкретні методичні підходи до відповідної економічної оцінки. Для локальних природних об'єктів таке визначення може спиратися на натурні спостереження, з врахуванням динаміки стану екосистем, та оцінки господарського впливу на результати зміни екосистем. В НаУКМА такі дослідження проводилися на локальних біотопах [2], в більш широкому контексті це вимагає міждисциплінарних досліджень екосистемних послуг [3], однак наслідки зміни якості екосистем у часі залишалися за межами методичних підходів і переходили до прогностичних міркувань.

Основні виклики для визначення відтермінованих у часі економічних наслідків скорочення продуктивності або стану екосистем, і, відповідно, екосистемних послуг, за умов продовження бойових дій та викликів, пов'язаних з цим фактором, наступні:

1) визначення відтермінованих наслідків скорочення продуктивності екосистем і зміни якісних та кількісних характеристик екосистемних послуг пов'язані з натурними дослідженнями, які за умов війни проводити складно, а інколи практично неможливо;

2) прогнозування реального впливу зміни екосистемних послуг на господарські процеси пов'язано з розумінням характеру економіки, наявності соціальних умов для продуктивної діяльності, трудового потенціалу, інвестиційних ресурсів тощо. Нині для вразливих від впливу бойових дій територій України питання їх повоєнного використання в господарських процесах залишається відкритим;

3) вартісна оцінка зміни екосистемних послуг буде залежати від готовності суспільства використовувати ці послуги, наприклад, статево-вікова структура населення на постраждалих чи деокупованих територіях буде багато в чому визначати можливість ефективного використання природо-ресурсного потенціалу;

4) дослідження скорочення екосистемних послуг для постраждалих від війни територій України на методичному рівні мають здійснюватися вже зараз, для обґрунтування позиції України на міжнародних майданчиках та судових процесах щодо визначення розміру компенсаційних платежів за заподіяну шкоду довкіллю України під час війни.

Розглянемо освітню складову при дослідженні екосистемних послуг та впровадження результатів таких досліджень до реального урядування. Нині в Україні скорочується підготовка бакалаврів та магістрів з економіки природокористування, і на те є суб'єктивні та об'єктивні обставини. Сама економіка природокористування стала занадто вузькою спеціальністю, щоб бути привабливою для студентів, а коло питань для таких фахівців постійно звужується через мінливість нормативної бази та слабку ефективність монетарного тиску на природокористувачів.

Заклади вищої освіти мають готувати не стільки економістів-екологів, скільки розвивати міждисциплінарні програми з максимальною орієнтацію на потреби ринку праці. Тому для війни та повоєнного відновлення актуальним є поєднання різних фахових навичок. Роль держави, зокрема, МОН України, може полягати в стимулюванні підготовки таких фахівців. Йдеться не тільки про державне замовлення та ліцензійний обсяг, а й про тісну співпрацю з такими компаніями, як «Надра України», «Ліси України», «Нафтогаз», «Астарта», регіональні водоканали тощо. Саме ідея аналізу екосистемних послуг для постраждалих від війни територій України може стали привабливою для обґрунтування доцільності такої співпраці.

Серед важливих аспектів підготовки фахівців в межах потреб ринку є усвідомлення та надання базових знань та навичок в сфері аналізу й практичного врахування каскадних ефектів для економіки та соціальної сфери, які спричинені саме наслідками війни та карколомних змін в цілісності та самовідновленні екосистем. Такі каскадні ефекти можуть бути спричинені не тільки і не стільки самим фактом негативного впливу на довкілля, а будуть непрямим і важко прогнозованими результатами змін в доступу до природних ресурсів, зниження врожайності, виведення земель з сільськогосподарського обігу, зниження якості прісноводних ресурсів, ускладненні доступу до них, збільшення соціальних зобов'язань на постраждалих територіях тощо.

Комплексний аналіз таких змін може слугувати важливою експертною підтримкою для державного управління в сфері повоєнного відновлення та реінтеграції тимчасово окупованих територій після їх деокупації. Нині ми спостерігаємо потенційних величезний дефіцит кадрів для реінтеграції, жодна з існуючих освітніх програм не забезпечує підготовку фахівців з комплексним баченням наявних та очікуваних проблем та викликів.

Саме тому питання аналізу віддалених наслідків скорочення екоситемних послуг має міждисциплінарний характер, вимагає не тільки комплексного бачення, але й системного забезпечення кадрового потенціалу. Для прикладу розглянемо вплив війни на водні екосистеми, які через скорочення екосистемних послуг безпосередньо впливають на стан економіки держави. Водні ресурси України суттєво постраждали внаслідок впливу військових дій. Головними чинниками дефіциту водних ресурсів на 2026 р. є: руйнація Каховського водосховища; зниження рівня ґрунтових вод, внаслідок ліквідації Каховського водосховища та природних гідрогеологічних чинників, зокрема, кліматичних змін; максимізація генерування гідроенергії на наявних ГЕС, внаслідок нищівної руйнації української енергетики. Результат дефіциту водних ресурсів проявляється вже сьогодні, але найбільш значущі наслідки очікуються у повоєнному відновленні через наступні загрози, серед яких: стан систем водопостачання та водовідведення; господарські потреби, які можуть не відповідати наявним обсягам доступних водних ресурсів; зниження природного стоку та опадів, що спричинятиме періодичне обміління та зниження водності водотоків та водосховищ.

Вартісний аналіз таких викликів перед державою є запорукою підготовки та впровадження ефективних рішень для розвитку постраждалих від війни регіонів.

Список літератури:

1. Повідомлення про оприлюднення проєкту розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері управління екосистемними послугами на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках». Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://surl.li/lavbvw
2. Хлобистов Є.В., Сова Л.О. Динаміка екосистемних послуг біотопів Коростишівського кар'єру та його прибережних систем. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 16-18 жовтня 2024, Україна, Львів: збірник матеріалів / Національний університет "Львівська політехніка" [та ін.]. Київ: ГО "МНГ", 2024: 53. URL: https://doi.org/10.56287/8285-40-1.
3. Zhuk, A. (2024). Ecosystem services as an object of transdisciplinary cooperation. Biological Systems: Theory and Innovation, 15(2), 17-27. https://doi.org/10.31548/biologiya15(2).2024.002

МАСІКЕВИЧ Ю.Г. (УКРАЇНА, ЧЕРНІВЦІ)

ЯКІСТЬ ПОВЕХНЕВИХ ВОД В ЯКОСТІ ПЕРЕДУМОВИ ПОПУЛЯЦІЙНОГО ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

Буковинський державний медичний університет
58002, площа Театральна, 2, Чернівці, Україна; yumasik1957@bsmu,edu.ua

Abstract. The sanitary and hygienic status of surface waters in the Siret and Dniester basins within the Chernivtsi region was investigated. A direct correlation has been established between indicators of biochemical oxygen demand, total microbial count, and coliform index and the level of population health in the studied region. Gastrointestinal diseases, which predominate in terms of prevalence, were selected as the criterion for population health.

Зростання рівня негативного техногенного впливу на довкілля є вкрай небезпечним як для здоров'я людини так і стану природних екосистем в цілому. В останні десятиліття все більший вплив на екологічну безпеку підземних та поверхневих джерел питної води мають антропогенні фактори. Досліджуваний нами регіон є густонаселеним. Наявність великої кількості територій індивідуальної забудови, які не оснащені централізованим водовідведенням, неправильне облаштування вигрібних ям (в кращому випадку) призводять до проникнення каналізаційних стоків у поверхневі води густо розгалуженої річкової мережі. Для даного регіону характерним також є використання на земельних ділянках та полонинах отрутохімікатів та гербіцидів, розвиток фермерського скотарства. Основними джерелами мінеральних сполук азоту і органічних речовин у річковій воді виявились продукти біохімічного розкладу органічних речовин комунально-побутового аграрного походження. Найбільший відсоток наднормативних рівнів спостерігається за забрудненням води нітратами і сягає 61% та амонійними сполуками (56%). Забруднення амонійними сполуками свідчить про свіже забруднення фекаліями, тоді як забруднення нітратами, характерне для давнього забруднення. Характерним є також висока кількість (55 %) випадків перевищення нормативного значення перманганатної окиснюваності, що свідчить про забруднення води легкоокислюваними органічними сполуками.

Наявність у поверхневих водах значної кількості органічних та мінеральних забруднювачів – продуктів життєдіяльності людини, нагромадження хвороботворних мікроорганізмів і інвазій, проявляється у вигляді ряду інфекційних та неінфекційних захворювань в першу чергу захворювань кишково-шлункового тракту.

Нами проведено аналіз санітарно-гігієнічного стану поверхневих вод басейну річки Сірет в межах Чернівецької області (від витоків і до перетину кордону з Румунією). Річка Сірет, права притока Дунаю, бере свій початок у Покутсько-Буковинських Карпатах біля Піку Магура, протікає близько 100 км територією України, та близько 600 км територією Румунії і впадає в Дунай в районі міста Галац. Відібрані, впродовж 3-х років проби води, в реперних точках, дали можливість промоніторити якість поверхневих вод Сірету за рядом санітарно-гігієнічних показників. Результати засвідчили зростання забруднення вниз за течією органічними сполуками, про що свідчать отримані нами показники біохімічного споживання кисню, загального мікробного числа, колі-індексу тощо. Слід зазначити, що за маршрутом досліджень нами не виявлено жодної централізованої очисної споруди, в тому числі в найбільших населених пунктах селищі Берегомет та м. Сторожинець. Базуючись на описаній в літературі «Стратегії удосконалення системи моніторингу за станом здоров'я населення України», ми проаналізували основні нозологічні форми захворювання досліджуваного регіону, на підставі офіційних даних державної установи «Чернівецький обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» та Головного управління статистики у Чернівецькій області. З'ясувалося, що найбільший відсоток (більше 40 %) серед нозологічних форм захворювань належить кишково-шлунковим (інфекційним та неінфекційним) захворюванням. При цьому, має місце загальна тенденція зростання відсотку даних захворювань серед населення, що проживає вниз за течією. Так, у Вижницькому районі даний відсоток складав 36,2 %, Сторожинецькому 48,4 %, а в прилеглому до кордону Герцаївському – сягав 55,4 %. За умови відсутності централізованих очисних споруд вниз за течією зростало органічне забруднення поверхневих вод річки скидами комунальної сфери, змивами з полів та фермерських господарств.

Проведені дослідження дають змогу підсумувати, що стан поверхневих вод річкової мережі української частини басейну річки Сірет викликає значне занепокоєння і вимагає постійного контролю з метою забезпечення здоров'я населення регіону та здоров'я екосистеми в цілому.

KRYVOSHEIN O., KRYVOBOK O. (UKRAINE, KYIV)

SATELLITE OBSERVATIONS FOR OPERATIONAL WILDFIRE MONITORING IN ENVIRONMENTALLY SENSITIVE AREAS OF UKRAINE

Ukrainian Hydrometeorological Institute
37, Nauki str., Kyiv, Ukraine; krivoshein@uhmi.org.ua

Abstract. Wildfires pose a significant threat to forests, wetlands, protected natural areas, and other environmentally sensitive ecosystems in Ukraine. This study presents an approach to near-real-time wildfire monitoring based on the complementary use of polar-orbiting and geostationary satellite observations. Active fire detections from VIIRS, optical observations from MODIS, and high-frequency multispectral observations from the MTG-FCI are used to characterize the spatial and temporal dynamics of wildfire events. Particular attention is given to MTG Fire RGB observations and complementary Natural Colour and Cloud Type RGB products. The approach was evaluated using wildfire events in the Danube biosphere reserve and the Chornobyl exclusion zone in 2026. The results demonstrate that high-frequency geostationary observations can reduce temporal gaps between polar-orbiting satellite overpasses and provide additional information for timely environmental assessment and emergency management.

Wildfires represent severe ecological threats to Ukraine's forests, wetlands, and protected areas through vegetation destruction, biodiversity loss, and atmospheric pollution. Effective environmental monitoring requires both precise fire detection and high temporal frequency to capture rapid combustion dynamics.

Satellite Remote Sensing enables continuous large-scale monitoring, though systems differ in coverage capabilities. Polar-orbiting sensors provide fine spatial details on thermal anomalies but are constrained by orbital revisit intervals. Geostationary systems offer continuous, high-frequency temporal coverage, making them invaluable for tracking rapidly evolving environmental events [1].

This study evaluates the combined use of polar-orbiting and geostationary data for near-real-time wildfire monitoring in Ukraine. Active fire detections from VIIRS [2] and MODIS were integrated with multispectral observations from the Meteosat Third Generation Flexible Combined Imager (MTG-FCI). Particular focus was placed on MTG Fire RGB for continuous anomaly identification, alongside Natural Colour and Cloud Type RGBs for contextual analysis.

The operational approach was tested on 2026 wildfire events in Ukraine:

– Danube biosphere reserve: high-frequency MTG observations tracked rapid wetland combustion during polar-orbiting revisit gaps, reinforcing the role of MTG-FCI in early fire detection and small-fire FRP retrieval [3].

– Chornobyl exclusion zone: combining active fire data with geostationary imagery enabled continuous tracking of fire progression and smoke plume transport—critical for managing broader ecosystem and atmospheric impacts.

Integrating multi-orbit satellite observations significantly improves wildfire monitoring continuity. High-frequency geostationary imagery captures rapid changes between polar passes, while high-resolution data adds necessary spatial context. Future developments may incorporate vegetation indicators, protected-area boundaries, atmospheric products, and lightning data to optimize wildfire risk assessment and ignition modeling in Ukraine.

References

1. Wooster, M. J. et al. (2021). Satellite remote sensing of active fires: History and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment*, 267, 112694. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112694.
2. Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. et al. (2014). The New VIIRS 375 m active fire detection product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85–96. DOI: 10.1016/j.rse.2013.12.008.
3. Xu, W., Wooster, M., He, J., Meraner, A. et al. (2026). Major improvements in spaceborne early fire detection and small-fire FRP retrieval with the Meteosat Third Generation Flexible Combined Imager. *Science of Remote Sensing*, 13, 100366. DOI: 10.1016/j.srs.2026.100366.

МИКИЦЕЙ М.Т. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ПРОЦЕДУРА ВИЗНАЧЕННЯ НАФТОВИХ ВУГЛЕВОДНІВ У ЕКОСИСТЕМАХ МІКРОВОДОЗБОРІВ: ВАЛІДАЦІЯ ТА ЗЕЛЕНІ ІНДЕКСИ FTIR-АНАЛІЗУ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, mmtecoif@gmail.com

Abstract. Rapid monitoring of total petroleum hydrocarbons (TPH) in soils and aquatic environments of urbanized and war-affected areas requires fast, safe, and accurate analytical solutions. The aim of this study is to develop and comparatively validate a novel rapid procedure for TPH determination based on single-stage cyclohexane extraction followed by Florisil cleanup and analysis using an Agilent Cary 630 FTIR spectrometer (TumblIR 100).

Метрологічна валідація та порівняння процедур. Валідацію методики проведено відповідно до ISO/IEC 17025. Розрахунок аналітичної невизначеності виконувався за принципами GUM (ISO, 1993) та US GUM (ANSI, 1997). Практичну реалізацію забезпечено через вкладений підхід (Nested Approach) за методикою СОП 06 (Navy Lab QA, 2003) із використанням автоматизованих Excel-інструментів. Розроблена процедура забезпечувала високу внутрішню узгодженість та прийнятні показники точності для складних екологічних матриць:

– ґрунти та донні відклади: внутрішня прецизійність (RSD) становить близько 11% (n = 10), систематичне зміщення — -11.5%, вилучення (recovery) — 88.5%, розширена невизначеність — ±24%.
– водні матриці: вилучення перевищує 94%, мінімальне систематичне зміщення, розширена невизначеність — ±31.9%.
– вплив пробовідбору: модельні експерименти виявили суттєві систематичні зсуви через гетерогенність розподілу TPH (-47% для ґрунтового перколяту, -43.5% для вологого ґрунту w = 45%, та -40.3% для водно-насиченого ґрунту).

Оцінка за критеріями зеленої аналітичної хімії (AGREE / AGREEprep)

Порівняльний аналіз стандартних нормативних методик та запропонованої авторської процедури за допомогою інструментів AGREE та AGREEprep демонструє переваги нового підходу за рахунок зменшення об'ємів зразків, економії екстрагента та скорочення стадій пробопідготовки:

Таблиця 1

Порівняльна оцінка аналітичних процедур визначення загального вмісту нафтових вуглеводнів (TPH) за індексами AGREE та AGREEprep

Шифр методу	Метод аналізу	Інтегральний індекс AGREE	Індекс пробопідготовки AGREEprep
МВВ № 081/12-0645-09	Гравіметричний (води)	0.20	0.08 – 0.15
МВВ № 081/12-0877-13	ІЧ-спектрофотометрія	0.26	0.12 – 0.18
ASTM D7678 – 17	Середньоінфрачервона лазерна спектроскопія	0.33	0.18 – 0.22
Авторська процедура	Циклогексанова екстракція + Cary 630 FTIR (води/ґрунти)	0.61	0.48 – 0.50

Висновки та практичне значення. Запропонована FTIR-процедура значно перевершує класичні методи за показниками екологічності, безпеки оператора та швидкості аналізу. Польова апробація на територіях із високим антропогенним навантаженням (мікроводозбори річок Лущава і Стримба, урбанізована зона Івано-Франківська) підтвердила придатність методу для виявлення локальних осередків забруднення. Отримані дані забезпечують надійну основу для інтегрованої оцінки екологічних ризиків і моделювання міграції забруднювачів у мікро- та низькопорядкових водозборах.

Список літератури:

1. Mykytsei, M. (2026). Petroleum hydrocarbons in soil and water matrices: Testing a new rapid extraction procedure and FTIR spectroscopy for integrated risk assessment in micro-and low-order catchments. *Ecological Safety & Balanced Use of Resources*, *17*(1), 9. https://doi.org/10.63341/esbur/1.2026.09
2. Pena-Pereira, F., Wojnowski, W., & Tobiszewski, M. (2020). AGREE—Analytical GREEnness Metric Approach and Software. Analytical Chemistry, 92. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c01887

МИКИЦЕЙ М.Т. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

МЕТОДИЧНІ ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ МІГРАЦІЇ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ҐРУНТОВО-ВОДНИХ СИСТЕМАХ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, mmtecoif@gmail.com

Abstract. Current approaches to the experimental investigation of chemical contaminant migration in soil–water systems are analyzed. A number of methodological challenges are identified, including differences between laboratory and natural conditions of substance transport, variability in the design and hydraulic regimes of column systems, the use of disturbed soil materials, and the difficulty of reproducing natural infiltration. It is shown that flow velocity and direction, degree of saturation, hydraulic head, and soil matrix structure can substantially affect the relationships between advective transport, dispersion, sorption, and mass transfer. This creates a risk of obtaining migration parameters that primarily characterize the conditions of a specific laboratory experiment rather than the properties of the soil–contaminant system. The need to improve experimental approaches by ensuring the physical consistency of the hydraulic regime and enabling subsequent interpretation of the obtained data using mathematical models of contaminant migration is substantiated.

Міграція хімічних забруднювачів через ґрунтовий профіль під впливом інфільтраційних потоків є одним із ключових механізмів їх надходження до підземних і поверхневих вод. Інтенсивність цього процесу визначається одночасним впливом властивостей забруднювача, ґрунтової матриці та гідрологічного режиму. Особливого значення проблема набуває для територій з інтенсивним сільськогосподарським використанням, техногенним навантаженням та в умовах воєнного впливу, коли зростає кількість потенційних джерел дифузного забруднення.

Аналіз сучасних досліджень показує, що однією з основних проблем залишається недостатня узгодженість між лабораторним відтворенням процесу міграції та його перебігом у природних умовах. Для прогнозування перенесення забруднювачів використовують такі параметри, як коефіцієнт сорбції ґрунт–вода (Kd), коефіцієнт сорбції органічним вуглецем (Koc), коефіцієнти дифузії, поздовжня дисперсивність, а також параметри деградації та масообміну. Проте їхні значення залежать не лише від властивостей хімічної сполуки, а й від структури ґрунту, його фізико-механічних властивостей, водонасичення та характеристик потоку. Відтак параметри, отримані в різних експериментальних системах, не завжди є безпосередньо порівнюваними або придатними для перенесення на природні умови.

Існуючі лабораторні підходи мають принципово різний ступінь відтворення процесу інфільтрації. Batch-тести є простими, швидкими та економічно доступними, однак характеризують взаємодію забруднювача з ґрунтом переважно за фіксованого співвідношення рідина/тверда фаза (L/S). Вони не дозволяють безпосередньо простежити послідовну зміну концентрації речовини під час проходження води через ґрунтову матрицю. Крім того, необхідність розділення твердої та рідкої фаз шляхом центрифугування або фільтрування може створювати додаткове джерело варіабельності аналітичних результатів.

Колонкові випробування забезпечують більш реалістичне відтворення вертикального руху води та дозволяють отримувати послідовні фракції фільтрату. Водночас аналіз джерел свідчить про значну варіабельність конструкцій колонок, способів підготовки ґрунту, напрямку потоку, швидкості інфільтрації, гідравлічного напору та тривалості експерименту. Стандартизовані процедури, зокрема ISO/TS 21268-3, CEN/TS 14405, DIN 19528, US EPA Method 1314 та OECD Test No. 312, також передбачають різні експериментальні режими та співвідношення L/S. Це ускладнює пряме порівняння результатів і створює питання щодо того, наскільки отримані характеристики відображають властивості самої системи «забруднювач–ґрунт», а не особливості конкретної методики.

Окремою проблемою є вибір гідравлічного режиму. Низхідний потік під дією сили тяжіння концептуально наближений до природної інфільтрації атмосферних опадів, проте може супроводжуватися нерівномірним насиченням та затримуванням повітря в поровому просторі. Висхідний потік сприяє витісненню повітря та більш рівномірному насиченню ґрунту, але відрізняється від природного напрямку інфільтрації. Використання заданого гідравлічного напору або штучне збільшення швидкості потоку додатково змінює гідродинамічні умови. Таким чином, відсутність єдиного підходу до формування потоку залишається важливим джерелом методичної невизначеності.

Проблема посилюється при спробі прискорення колонкових експериментів. Скорочення тривалості дослідження є важливим для підвищення кількості повторностей та розширення спектра досліджуваних речовин, однак надмірне збільшення швидкості потоку або мініатюризація системи можуть змінювати співвідношення між конвективним перенесенням, дисперсією, сорбцією та масообміном. У такому випадку отримана крива прориву (breakthrough curve, BTC) може характеризувати передусім конкретні умови лабораторної установки, а не закономірності міграції речовини у природному ґрунтовому профілі.

Ще однією проблемою є використання порушеного ґрунтового матеріалу замість ненарушеної ґрунтової структури. Перемішування, просіювання, висушування та повторне ущільнення змінюють просторову організацію порового простору, гідравлічну провідність та доступність сорбційних поверхонь. Це може істотно впливати на швидкість проходження води та поведінку забруднювача. Водночас дослідження на ненарушених монолітах є складнішими, менш стандартизованими та потребують спеціального обладнання.

Важливою невирішеною проблемою залишається також зв’язок між експериментальними даними та математичним моделюванням. Параметри, отримані шляхом калібрування або інверсного моделювання, можуть включати одночасний вплив гідравлічного режиму, властивостей ґрунту та поведінки забруднювача. За недостатнього контролю експериментальних умов виникає ризик отримання параметрів, які добре описують конкретний лабораторний експеримент, але не мають однозначної фізичної інтерпретації та обмежено придатні для екстраполяції на природні умови.

Отже, аналіз літературних джерел дозволяє виділити декілька взаємопов’язаних методичних проблем дослідження міграції забруднювачів: компроміс між простотою та природоподібністю експерименту; значну варіабельність конструкцій і гідравлічних режимів колонкових систем; недостатню відтворюваність природної структури ґрунту; вплив способу формування потоку на отримувані характеристики перенесення; а також невизначеність фізичної інтерпретації параметрів, що використовуються у математичних моделях. Це вказує на необхідність подальшого розвитку експериментальних підходів, у яких гідравлічні умови, структура ґрунтової матриці та процедура отримання даних розглядаються як взаємопов’язані компоненти єдиної системи дослідження міграції хімічних речовин.

Список літератури:

1. Ge, J., She, D., Ju, X., Cao, T., & Xia, Y. (2025). Characterization of preferential flow and transport pathways under farmland with different land uses. *Soil and Tillage Research*, *252*, 106573. https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106573

2. Singh, B., Bhat, A., Thenuwara, G., Ravi, K., Naik, A. S., O’Connor, C., & Tian, F. (2025). Hidden Threats in Water: The Global Rise of Emerging Contaminants. *Pollutants*, *5*(4), 48. https://doi.org/10.3390/pollutants5040048

3. Geletu, A. K., Wondimu, K. T., Keru, I. U., Woldegebreil, T. A., & Debelo, M. A. (2025). Trends in monitoring of emerging contaminants: Advances and challenges in detection and assessment. *Regional Studies in Marine Science*, *89*, 104358 https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104358

4. Klein, J., & Skodras, DA (2025). Калькулятор вилуговування: інструмент для прогнозування вилуговування в рамках нових класів небезпеки, пов'язаних з мобільністю, PMT та vPvM. *Комплексна екологічна оцінка та управління* , *21* (6), 1465-1470. https://doi.org/10.1093/inteam/vjaf094

5. Gadžimuradova, M., Sigmund, G., Sechi, V., Van Der Maas, P., & Sutton, N. B. (2025). Scoping the applicability of the KOC concept for pesticides across soil particle size and carbon content. *Environmental Pollution*, 127551. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.127551

6. Naka, A., Yasutaka, T., Sakanakura, H., Kalbe, U., Watanabe, Y., Inoba, S., ... & Someya, M. (2016). Column percolation test for contaminated soils: Key factors for standardization. *Journal of hazardous materials*, *320*, 326-340. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.046

7. Kalbe, U., Piechotta, C., & Bandow, N. (2024). Comparing PFAS analysis in batch leaching and column leaching tests. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(57), 65233-65251. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35510-0

КОБРИН М., ЛЮТА О. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

АНАЛІЗ ГЛОБАЛЬНОГО ДОСВІДУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД МІКРОПЛАСТИКОМ В УКРАЇНІ

Національний університет "Львівська політехніка"
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна
oksana.v.liuta@lpnu.ua

Abstract. Microplastic pollution of aquatic ecosystems is caused by various sources, including urban runoff, agricultural activities, industrial wastewater, and atmospheric deposition. Reducing the environmental impact of microplastics requires an integrated approach involving the reduction of single-use plastics, improved waste sorting and recycling systems, the development of wastewater treatment technologies, and the implementation of circular economy principles. International cooperation, scientific research, technological innovation, and public environmental awareness are essential for reducing plastic pollution and protecting freshwater and marine ecosystems.

Одним із ключових шляхів надходження мікропластику до водних екосистем є поверхневий стік з територій міст. На автомобільних дорогах, тротуарах, дахах та інших елементах міської інфраструктури поступово накопичуються пластикові відходи й частинки полімерних матеріалів. Під час опадів або сезонного танення снігу ці забруднювачі змиваються у систему зливової каналізації, після чого разом зі стічними водами можуть потрапляти до річок, озер та інших водних об'єктів.

Помітну роль у поширенні мікропластику відіграють і сільськогосподарські території. Джерелами полімерних частинок тут можуть бути залишки агроволокна та агроплівки, пластикова тара й упаковка від добрив і засобів захисту рослин, а також окремі види мікрогранульованих агрохімічних матеріалів. Під впливом сонячного випромінювання, перепадів температури та механічного руйнування пластикові матеріали поступово втрачають цілісність і перетворюються на дрібні частинки. Поверхневий водний стік сприяє їх подальшому переміщенню за межі сільськогосподарських угідь та надходженню у водні екосистеми.

Додатковим джерелом мікропластикового забруднення є промислові стічні води. Особливо це стосується підприємств текстильної, хімічної та косметичної галузей, діяльність яких пов'язана з використанням синтетичних полімерних матеріалів. Мікропластик може утворюватися безпосередньо під час виробничих процесів або надходити у стоки як побічний продукт використання синтетичних матеріалів. Окрему проблему становлять дрібні абразивні полімерні частинки, які можуть бути присутні у складі певних очищувальних засобів.

Хоча очисні споруди призначені для вилучення забруднювальних речовин зі стічних вод, їхня ефективність щодо затримання мікропластику залежить від особливостей технології очищення та розміру частинок. Найдрібніші полімерні фрагменти можуть залишатися у воді після проходження очисних етапів і разом з очищеним стоком потрапляти у природні водойми. Поширенню мікропластику сприяє також атмосферне перенесення: полімерні частинки можуть переміщуватися повітряними потоками, а згодом осідати на поверхню ґрунтів і водойм разом із пилом, дощем або снігом.

Важливим напрямом протидії мікропластиковому забрудненню є вдосконалення систем його моніторингу та оцінювання. Для отримання достовірних даних необхідне застосування уніфікованих методик відбору проб, ідентифікації та кількісного визначення полімерних частинок у поверхневих і стічних водах. Регулярний моніторинг дає змогу виявляти основні джерела та шляхи поширення мікропластику, оцінювати ефективність очисних технологій і визначати території з підвищеним рівнем забруднення. Формування систематизованих баз даних також сприятиме порівнянню результатів між регіонами та розробленню обґрунтованих природоохоронних заходів.

Зменшення масштабів такого забруднення потребує комплексного підходу, спрямованого насамперед на скорочення утворення пластикових відходів. Одним із можливих напрямів є поступове зменшення використання одноразових пластикових виробів та формування умов для їх заміни більш екологічними альтернативами. Водночас необхідно розвивати системи роздільного збирання, сортування та перероблення полімерних відходів. Важливе значення має й перехід до принципів циркулярної економіки, за яких вторинні полімерні матеріали повторно залучаються до виробничого циклу. До таких заходів також належать запровадження розширеної відповідальності виробників та підтримка технологічних рішень, орієнтованих на скорочення утворення пластикових відходів на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Міжнародна співпраця у сфері охорони довкілля створює додаткові можливості для вирішення проблеми мікропластикового забруднення. Участь держав у спільних екологічних програмах сприяє обміну науковими напрацюваннями, методиками контролю та досвідом поводження з полімерними відходами. Крім того, міжнародні проєкти можуть забезпечувати доступ до сучасного обладнання й технологій очищення та сприяти залученню фінансових ресурсів для модернізації екологічної інфраструктури. Перспективними напрямами є вдосконалення систем очищення стічних вод, розроблення технологій біологічного розкладання полімерів та створення нових матеріалів із меншим негативним впливом на навколишнє середовище.

Важливою складовою протидії пластиковому забрудненню є участь населення та місцевих громад. Підвищення екологічної грамотності через освітні проєкти, інформаційні кампанії та природоохоронні ініціативи сприяє формуванню відповідальної поведінки щодо використання пластику. Особливе значення має усвідомлення зв'язку між повсякденним споживанням, утворенням пластикових відходів і їх подальшим потраплянням у водні екосистеми.

Ефективність таких заходів може посилюватися завдяки залученню громадськості до сортування відходів, прибирання територій, локального екологічного моніторингу та поширення практик повторного використання продукції. Поєднання індивідуальної відповідальності, діяльності громад і системних заходів органів влади та бізнесу дає змогу не лише зменшувати обсяги пластикових відходів, а й формувати довгострокові моделі сталого споживання.

Для України міжнародна взаємодія у сфері боротьби з пластиковим забрудненням має також наукове й технологічне значення. Реалізація спільних екологічних проєктів може сприяти впровадженню сучасних методів дослідження та моніторингу стану водних ресурсів, удосконаленню технологій очищення води й розвитку відповідної інфраструктури. Комплексне поєднання технологічних, законодавчих, економічних та освітніх заходів створює передумови для скорочення надходження мікропластику до річкових і морських екосистем та зменшення ризиків подальшого погіршення їхнього екологічного стану.

Таблиця 1

Адаптація міжнародного досвіду до українських вимог

Міжнародний досвід	Адаптація до українських вимог
Участь у міжнародних програмах	Інтеграція України у ці програми для переймання досвіду та фінансової підтримки
Розробка нормативно-правових актів для зменшення пластикових відходів	Гармонізація українського законодавства з європейськими директивами
Обмеження використання одноразових пластмас	Прийняття національних актів для скорочення одноразових виробів
Розвиток циркулярної економіки	Стимулювання переробки та повторного використання полімерних матеріалів

Не менш важливою складовою протидії пластиковому забрудненню є участь населення. Підвищення рівня екологічної грамотності через освітні проєкти, інформаційні кампанії та місцеві природоохоронні ініціативи може сприяти зміні повсякденної поведінки споживачів. Формування відповідального ставлення до використання пластику, скорочення попиту на одноразову продукцію та підтримка екологічних ініціатив допомагають зменшувати кількість пластикових відходів, які потенційно можуть стати джерелом мікропластику.

ДЯЧУК Б.В., КОВРОВ О.С. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗ ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ЗА АГРОКЛІМАТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ТА ВЕГЕТАЦІЙНИМИ ІНДЕКСАМИ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, просп. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна; Diachuk.Bo.V@nmu.one

Abstract. The study presents an integrated framework for assessing and forecasting agroecosystem productivity under climate change. The framework combines multitemporal vegetation indices, agrometeorological variables, soil properties, and field yield data. A processing workflow based on Sentinel-2 and Landsat imagery, climate archives, and explainable machine-learning models is proposed. The synthesis shows that phenology-aware integration of remote-sensing and weather predictors improves the interpretation of crop stress and supports early yield forecasting. The approach can guide adaptive water, fertilizer, and land-management decisions.

Зростання температури повітря, зміна сезонного розподілу опадів і частіші посухи підсилюють мінливість урожайності та ускладнюють планування агровиробництва. Точкові польові спостереження залишаються необхідними, але не забезпечують одночасно достатнього просторового охоплення й оперативності. Дані дистанційного зондування Землі дають змогу регулярно оцінювати стан посівів, тоді як агрометеорологічні ряди пояснюють вплив теплового і водного стресу. Їх спільне використання створює основу для раннього прогнозування продуктивності агроекосистем.

Мета роботи – обґрунтувати структуру інтегрованої системи оцінювання та прогнозування продуктивності агроекосистем за сукупністю вегетаційних індексів, агрокліматичних показників і методів машинного навчання, а також визначити умови її коректного практичного застосування.

Інформаційну основу запропонованого підходу становлять мультиспектральні знімки Sentinel-2 і Landsat, метеорологічні спостереження та фактичні дані про врожайність. Після атмосферної корекції й маскування хмар для кожного поля формують часові ряди NDVI, EVI, NDMI та індексів червоного краю. Їх доповнюють сумами активних температур, кількістю опадів, тривалістю бездощових періодів, дефіцитом тиску водяної пари та показниками ґрунтової вологи. Ознаки агрегують не лише за календарними місяцями, а й за фазами розвитку культури, оскільки реакція рослин на однаковий стрес залежить від фенологічного етапу.

Для моделювання доцільно порівнювати інтерпретовану базову регресію з алгоритмами Random Forest і градієнтного бустингу; рекурентні мережі типу LSTM варто застосовувати лише за наявності достатньо довгих і однорідних часових рядів. Дослідження з використанням погодних змінних і MODIS NDVI підтвердило придатність Random Forest для прогнозування врожайності пшениці (Saeed et al., 2017). Гібридне поєднання сезонних метеорологічних прогнозів із машинним навчанням підвищує можливості завчасної оцінки врожаю (Cao et al., 2022), а моделі на основі багатоспектральних даних демонструють перевагу комплексного добору каналів та ознак (Cheng et al., 2022).

Таблиця 1

Структура даних для прогнозування продуктивності агроекосистем

Компонент	Показники	Аналітичне призначення
Супутникові дані	NDVI, EVI, NDMI, red-edge індекси; сезонні максимуми та інтеграли	Оцінка густоти, фотосинтетичної активності, водного стресу й фенологічної динаміки посівів
Агрокліматичні дані	Температура, опади, суми активних температур, бездощові періоди, вологозабезпечення	Виявлення теплових і водних обмежень; формування лагових та кумулятивних предикторів
Ґрунт і рельєф	Гранулометричний склад, органічна речовина, вологість, висота і схил	Урахування просторової неоднорідності та різної чутливості ділянок до посухи
Польові дані	Урожайність, культура, сорт, строки сівби та агротехнічні операції	Навчання, незалежна перевірка і калібрування прогнозних моделей

Запропонована процедура передбачає просторово-часове узгодження всіх джерел, формування аномалій відносно багаторічної норми, навчання моделей і незалежну перевірку за роками або

територіями. Випадковий поділ окремих пікселів є небажаним, оскільки призводить до витоку просторово залежної інформації та завищеної точності. Якість прогнозу слід оцінювати одночасно за R^2, RMSE, MAE і нормованою похибкою, а внесок предикторів пояснювати за допомогою permutation importance або SHAP. Такий контроль робить модель придатною не лише для прогнозу, а й для з'ясування причин пригнічення посівів. Узагальнений алгоритм оцінювання та прогнозування продуктивності агроекосистем наведено на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм оцінювання та прогнозування продуктивності агроекосистем за агрокліматичними показниками та вегетаційними індексами

Аналітичне узагальнення показує, що найбільшу прикладну цінність має не окремий індекс, а узгоджена сезонна динаміка спектральних, погодних і ґрунтових параметрів. NDVI характеризує загальний розвиток зеленої біомаси, однак може насичуватися у щільних посівах; тому його доцільно доповнювати EVI, індексами червоного краю та вологісними індикаторами. Агрокліматичні ознаки пояснюють причини відхилення спектральної відповіді від норми, а дані про ґрунт і рельєф допомагають локалізувати ділянки сталого ризику. Поєднання цих груп ознак також зменшує залежність прогнозу від хмарності, пропусків окремих знімків і відмінностей між сезонами (Haseeb et al., 2025).

Висновки. Інтеграція супутникових вегетаційних індексів, агрокліматичних характеристик і польової інформації формує науково обґрунтовану основу для оперативної оцінки та прогнозування продуктивності агроекосистем. Запропонована структура підтримує раннє виявлення зон теплового й водного стресу, обґрунтування диференційованого зрошення та удобрення, а також планування адаптаційних заходів за умов кліматичних змін. Подальша апробація має включати багаторічні дані конкретних господарств, зовнішню валідацію в інших ґрунтово-кліматичних зонах і оцінювання невизначеності кожного прогнозу.

Список літератури:

1. Saeed, U., Dempewolf, J., Becker-Reshef, I., Khan, A., Ahmad, A., & Wajid, S. A. (2017). Forecasting wheat yield from weather data and MODIS NDVI using Random Forests for Punjab province, Pakistan. International Journal of Remote Sensing, 38(17), 4831–4854. https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1323282
2. Cao, J., Wang, H., Li, J., Tian, Q., & Niyogi, D. (2022). Improving the forecasting of winter wheat yields in Northern China with machine learning–dynamical hybrid subseasonal-to-seasonal ensemble prediction. Remote Sensing, 14(7), 1707. https://doi.org/10.3390/rs14071707
3. Cheng, E., Zhang, B., Peng, D., Zhong, L., Yu, L., Liu, Y., Xiao, C., Li, C., Li, X., Chen, Y., Ye, H., Wang, H., Yu, R., Hu, J., & Yang, S. (2022). Wheat yield estimation using remote sensing data based on machine learning approaches. Frontiers in Plant Science, 13, 1090970. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1090970
4. Haseeb, M., Tahir, Z., Mahmood, S. A., & Tariq, A. (2025). Winter wheat yield prediction using linear and nonlinear machine learning algorithms based on climatological and remote sensing data. Information Processing in Agriculture, 12(4), 431–444. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2025.02.004

ЦАРИК Л.П., ЦАРИК П.Л., ЦАРИК В.Л. (УКРАЇНА, ТЕРНОПІЛЬ)

ОКУЛЬТУРЕНІ ПРИМІСЬКІ ДЖЕРЕЛА М. ТЕРНОПОЛЯ ЯК СКЛАДОВА ЕКОБЕЗПЕЧНОГО ВОДОСПОЖИВАННЯ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, 46015, вул. М.Кривоноса, 2, м. Тернопіль, Україна, pitertsaryk@gmail.com

Abstract: The article substantiates the need for a comprehensive geoecological assessment of the eco-safety of water consumption from cultivated sources in the suburban area. It is proposed to consider eco-safety as an integral characteristic that is formed under the influence of the natural protection of the aquifer, the peculiarities of land use in the source feeding zone, the sanitary and technical condition of the catchment structure, water quality, the nature of anthropogenic loads and the intensity of water intake.

Підземні води є важливим компонентом водно-ресурсного потенціалу територій та одним із джерел забезпечення населення якісною питною водою. Особливого значення їх використання набуває у приміських зонах, де природні геосистеми зазнають інтенсивної трансформації внаслідок житлової та дачної забудови, розвитку транспортної мережі, рекреаційної інфраструктури, сільськогосподарського освоєння та інших видів господарської діяльності. Зміни землекористування безпосередньо впливають на умови живлення підземних вод і можуть зумовлювати погіршення якості джерельної води

Природні джерела поблизу населених пунктів часто використовуються як локальні водозабори. Їх облаштовують каптажними спорудами, водовідвідними канавами, підходами та іншими елементами благоустрою. Такі об'єкти доцільно розглядати як окультурені джерела. Водночас наявність впорядкованої каптажної споруди не гарантує санітарної безпечності води. Екобезпечність водоспоживання має розглядатися комплексно, з урахуванням не лише показників якості води, а й стану джерела, характеру водозбору, антропогенного навантаження та умов експлуатації.

Метою дослідження було визначення геоекологічних передумов екобезпечного водоспоживання води окультурених джерел у приміській зоні Тернополя та оцінювання чинників, які формують ризики її забруднення. Методика передбачала поєднання польового геоекологічного обстеження, санітарно-технічної оцінки каптажів, аналізу характеру землекористування, лабораторного дослідження води та оцінювання потенційних джерел антропогенного впливу. Такий комплексний підхід дає змогу перейти від оцінки лише готової води до оцінювання ризиків на рівні всієї системи «водозбір – джерело – водоспоживач».

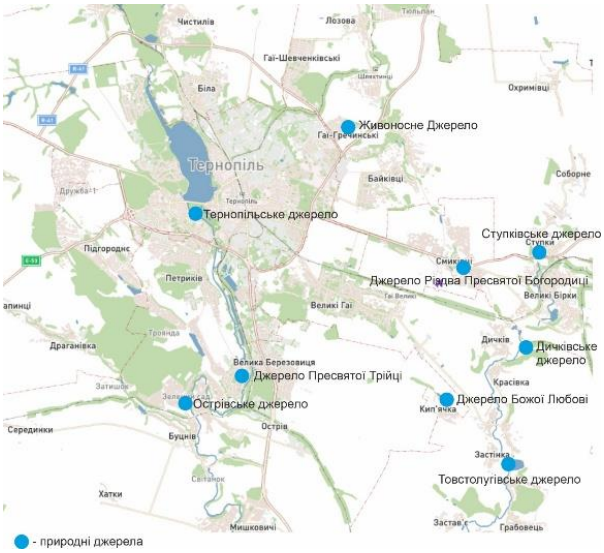


Рис. 1. Розташування окультурених природних джерел питної води поблизу м. Тернопіль (розроблено авторами)

У межах дослідження в радіусі до 20 км від Тернополя було обстежено 9 природних джерел, які використовуються населенням для питних та інших потреб: Острівське джерело, Джерело Пресвятої Трійці (сел. Велика Березовиця), Джерело Божої Любові (с. Кип'ячка), Товстолугівське джерело, Дичківське джерело, Ступківське джерело, Джерело Різдва Пресвятої Богородиці (с. Смиківці) та Живоносне джерело (с. Гаї-Гречинські), а також джерело в межах Тернополя. Із семи джерел були відібрані проби води для лабораторного аналізу.

Таблиця 1

Показники якості питної води з джерел Тернопільського району та м. Тернопіль (розроблено авторами за матеріалами відділу інструментально - лабораторного контролю ДЕІуТО)

Назва показника	Од. вим.	ГДК	Джерела. ' Гернопільський район 10.07.2026р.						
			с. Велика Березовиця	с.Острів	с.Кип'ячка	с.'Товстолуг	с. Ступки	С.Гаї Гречинські	Тернопіль, масив Дружба
Водневий показник	РН	6,5-8,5	6,83	6,97	7,18	8,54*	7,18	7,11	6,99
Сухий залишок	мг/дм³	1000	961	714	710	1233	613	828	755
Амоній	мг/дм³	0,5	0	0	0	0	0	0	0
Нітрити	мг/дм³	0,5	1,8	1,3	1,2	2,2	1,1	0,11	1,4
Нітрати	мг/дм³	50,0	4,1	3,3	3,3	6,2	3,1	5,6	4,8
Фосфати	мг/дм³	3,5	0,16	0,18	0,21	0,17	0,13	0,22	0,18
Хлориди	мг/дм³	250,0	39,0	19,15	22,69	48,93	21,8	41,84	25,52
Сульфати	мг/дм³	250,0	47,12	20,48	23,04	58,60	24,32	58,34	28,80
Твердість	мг/дм³	7,0	8,6	7,5	7,2	8,0	6,6	7,3	7,8
Кальцій	мг/дм³	130,0	146,2	124,25	122,24	108,1	106,2	110,2	120,24
Магній	мг/дм³	50,0	15,81	15,81	13,27	31,62	15,81	20,67	21,89

** червоним кольором вказані показники, що перевищують ГДК*

Лабораторний аналіз води семи джерел проведено за 11 показниками. Значення pH становили від 6,83 у джерелі Великої Березовиці до 8,54 у Товстолузі. Сухий залишок змінювався від 613 до 1233 мг/дм³; перевищення наведеного нормативного значення 1000 мг/дм³ зафіксовано у Товстолузі. Вміст амонію у досліджених пробах не перевищував зазначеного нормативу, тоді як нітрити мали значення 1,8; 1,3; 1,2; 2,2; 1,1; 0,11 та 1,4 мг/дм³ при нормативному значенні 0,5 мг/дм³. Отже, саме нітритне забруднення є найбільш вираженою проблемою за результатами представленого лабораторного аналізу. Вміст нітратів, фосфатів, хлоридів і сульфатів у наведених пробах не перевищував відповідних нормативних значень.

Геоекологічна оцінка показала неоднорідність стану досліджуваних джерел. Товстолугівське джерело перебуває на початковій стадії капітального благоустрою, але одночасно зазнає значного антропогенного навантаження, зокрема через комерційне використання води. Джерела у Ступках та Смиківцях розташовані поблизу завантаженої автомобільної траси Тернопіль–Хмельницький, що формує додаткові ризики. Для Смиківців характерна також відсутність природного водотоку: поява води забезпечується електропомпою. У Живоносному джерелі с. Гаї-Гречинські відзначено слабкий металевий післясмак, що може бути пов'язаний із підвищеним вмістом заліза, однак це припущення потребує лабораторної перевірки.

Водночас джерела у Дичкові, Острові, Великій Березовиці та парку Сопільче перебувають у задовільному стані й активно використовуються населенням. Це свідчить про їх важливе соціальне та рекреаційне значення, але водночас підвищує необхідність систематичного контролю якості води та санітарного стану прилеглих територій.

Таким чином, екобезпечність водоспоживання окультурених джерел у приміській зоні Тернополя визначається сукупною дією природної захищеності водоносних горизонтів, характеру землекористування, санітарно-технічного стану каптажів та фактичної якості води. Найбільш уразливими є джерела, зона живлення яких зазнає інтенсивного господарського освоєння або які розташовані поблизу транспортних магістралей, забудови та інших потенційних джерел забруднення.

Для забезпечення екобезпечного водоспоживання необхідними є регулярне лабораторне дослідження води, санітарне обстеження каптажних споруд, контроль стану зон живлення, обмеження потенційно небезпечної господарської діяльності та інформування населення про результати моніторингу. Особливо важливим є проведення мікробіологічного аналізу, оскільки мікробіологічна якість джерельної води може швидко погіршуватися після атмосферних опадів і танення снігу. Перспективним природоохоронним заходом є надання відповідного статусу Товстолугівському джерелу. Його охорона має передбачати не лише благоустрій безпосереднього місця виходу води, а й збереження території живлення джерела. Саме басейновий і геоекологічний підхід дозволяє поєднати охорону підземних вод, раціональне землекористування та безпеку населення.

Отже, окультурені джерела приміської зони Тернополя є важливими природними та соціально-економічними об'єктами, які виконують водозабезпечувальну, екологічну, рекреаційну й культурну функції. Водночас їх використання як джерел питної води має ґрунтуватися не на зовнішній впорядкованості, а на комплексній геоекологічній оцінці та постійному моніторингу. Екобезпечне водоспоживання можливе лише за умови одночасного контролю якості води, стану джерела, його водозбору та антропогенного навантаження.

Список літератури:

1. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first, second and third addenda. Geneva: WHO, 2026.
2. Царик Л.П. Царик П.Л., Кузик І.Р, Царик В.Л. Природокористування та охорона природи у басейнах малих річок: монографія. за ред. проф. Царика Л.П. Тернопіль: ред.-видавн. відділ ТНПУ. 2026. 182 с.

ПЕТРУШКА І.М., ГІРНЯК М.А., ЯРЕМКО В.Б. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОЦІНКА ВПЛИВУ СТИХІЙНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ДОВКІЛЛЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна; ihor.m.petrushka@lpnu.ua

Abstract. This paper examines the primary adverse effects of uncontrolled waste dumps on environmental components. It analyzes the potential pollution of soil, surface water, groundwater, and the atmosphere resulting from the accumulation and uncontrolled decomposition of waste. Key strategies for mitigating these negative impacts are proposed, focusing on the development of waste management systems, monitoring, and the remediation of unauthorized waste disposal sites.

Стихійні сміттєзвалища є однією з актуальних проблем екологічної безпеки населених пунктів України. Їх утворення є наслідком порушення встановленого порядку поводження з відходами, недостатнього розвитку інфраструктури їх збирання та перероблення, низького рівня екологічної культури населення, а також недостатнього контролю за утворенням і розміщенням відходів. На відміну від спеціально обладнаних полігонів, стихійні звалища не мають відповідних інженерних систем захисту ґрунтів, поверхневих і підземних вод та атмосферного повітря, що зумовлює їх комплексний негативний вплив на довкілля.

Правові засади поводження з відходами в Україні визначає Закон України «Про управління відходами» № 2320-IX від 20.06.2022. Закон встановлює основні принципи державної політики у сфері управління відходами, визначає вимоги до їх збирання, перевезення, оброблення, відновлення та видалення, а також передбачає запобігання утворенню відходів і зменшення їх негативного впливу на навколишнє природне середовище та здоров’я людей [1]. Наявність стихійних місць накопичення відходів свідчить про необхідність посилення системи контролю та розвитку сучасної інфраструктури управління відходами.

Одним із найбільш небезпечних напрямів впливу стихійних сміттєзвалищ є забруднення ґрунтового покриву. До складу таких звалищ можуть потрапляти побутові відходи, пластмаси, скло, метали, відпрацьовані батарейки, електронні компоненти, будівельні матеріали, залишки лакофарбових матеріалів та інші речовини. У процесі їх розкладання відбувається утворення фільтрату, який може містити органічні речовини, сполуки азоту та фосфору, хлориди, сульфати, нафтопродукти й важкі метали. Проникнення цих компонентів у ґрунт може спричиняти зміну його кислотності, окисно-відновного потенціалу, вмісту органічної речовини та інших фізико-хімічних характеристик.

Особливу екологічну небезпеку становить накопичення важких металів, зокрема свинцю, кадмію, міді, цинку, нікелю та хрому. Такі елементи можуть тривалий час зберігатися у ґрунті, змінювати форми міграції та за певних умов переходити у доступні для рослин і мікроорганізмів форми. Подальше переміщення забруднювачів у системі «ґрунт – рослина – тварина – людина» може створювати додаткові екологічні ризики. Тому оцінювання стану територій стихійних сміттєзвалищ доцільно проводити з визначенням не лише загального вмісту забруднювачів, а й просторової неоднорідності їх розподілу.

Важливим компонентом впливу стихійних сміттєзвалищ є забруднення поверхневих та підземних вод. У період опадів вода проходить крізь шар відходів і збагачується розчинними органічними та неорганічними речовинами. За відсутності гідроізоляційного екрану та системи збору фільтрату забруднені води можуть проникати в ґрунт і досягати підземних вод. У разі розташування звалища поблизу річок, ставків або інших водних об’єктів існує також ризик потрапляння забруднювачів до поверхневих вод.

Для оцінювання такого впливу можуть використовуватися показники мінералізації, електропровідності, pH, хімічного споживання кисню, біохімічного споживання кисню, концентрації амонійного та нітратного азоту, фосфатів, хлоридів, сульфатів, важких металів та інших забруднювальних речовин. Отримані результати необхідно порівнювати з відповідними нормативними вимогами до якості води та встановленими екологічними критеріями.

Стихійні сміттєзвалища також негативно впливають на атмосферне повітря. При анаеробному розкладанні органічної частини відходів утворюється біогаз, основними компонентами якого є метан і вуглекислий газ. Неконтрольоване горіння відходів може призводити до утворення чадного газу, оксидів азоту, летких органічних сполук, дрібнодисперсного пилу та інших продуктів неповного

згоряння. Особливу небезпеку становить спалювання пластмас та інших синтетичних матеріалів, оскільки за певних умов можуть утворюватися токсичні продукти горіння.

Значний вплив стихійні звалища мають і на природні екосистеми. Засмічення територій призводить до трансформації рослинного покриву, механічного пошкодження рослин, зменшення площ природних біотопів та порушення умов існування окремих видів. Накопичення органічних відходів може сприяти збільшенню чисельності гризунів, комах та інших організмів, які можуть бути переносниками патогенних мікроорганізмів. Крім того, сміття може поширюватися за межі початкової території під впливом вітру, опадів та поверхневого стоку.

Відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-XII від 25.06.1991, охорона довкілля передбачає збереження природних ресурсів, запобігання негативному впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище та забезпечення екологічної безпеки [2]. У цьому контексті ліквідація стихійних сміттєзвалищ та запобігання їх повторному утворенню є важливою складовою екологічної політики територіальних громад.

Для комплексної оцінки впливу стихійних сміттєзвалищ доцільно застосовувати поєднання польових, лабораторних, статистичних і геоінформаційних методів. На першому етапі проводять інвентаризацію звалищ із визначенням їх географічного положення, площі, орієнтовного об’єму та складу відходів. За допомогою ГІС-технологій можна створювати електронні карти розміщення стихійних звалищ і визначати їх близькість до житлової забудови, водних об’єктів, сільськогосподарських земель та природоохоронних територій.

Наступним етапом є відбір проб ґрунту, поверхневих і підземних вод та, за необхідності, атмосферного повітря. Лабораторні дослідження дозволяють визначити концентрації основних забруднювальних речовин. Для узагальнення результатів можуть застосовуватися коефіцієнти концентрації, сумарні індекси забруднення, інтегральні показники екологічного ризику та статистичні методи аналізу. Такий підхід дає можливість не лише встановити факт забруднення, а й оцінити його просторове поширення та потенційний рівень небезпеки.

Важливим нормативним документом є також Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-VIII від 23.05.2017, який визначає правові та організаційні засади оцінки впливу планованої діяльності на довкілля та спрямований на запобігання шкоді навколишньому природному середовищу [3]. Положення цього законодавства мають значення для планування та реалізації діяльності, пов’язаної з об’єктами управління відходами, у випадках, передбачених законодавством.

Таким чином, стихійні сміттєзвалища є комплексним джерелом антропогенного навантаження, яке охоплює ґрунти, поверхневі та підземні води, атмосферне повітря, рослинний і тваринний світ. Їх негативний вплив залежить від кількості та складу відходів, тривалості існування звалища, природних умов території, глибини залягання ґрунтових вод та відстані до водних об’єктів і житлової забудови. Ефективне вирішення проблеми потребує систематичного моніторингу, своєчасного виявлення та ліквідації несанкціонованих місць накопичення відходів, розвитку роздільного збирання і перероблення відходів, удосконалення контролю та підвищення екологічної свідомості населення.

Список літератури:

1. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX. Верховна Рада України. Закон України «Про управління відходами»
2. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. Верховна Рада України. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»
3. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII. Верховна Рада України. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля»

МАНДРИК О.М., ТУЦЬ О.М., ХОВАНЕЦЬ М.Т., ЛИПЧУК М.В.,
МАЛАНЮК І.І. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, mandryk68@gmail.com

Abstract. The methodology for assessing the environmental impacts of main gas pipelines at all stages of their life cycle, from construction through operation to emergency response and decommissioning, is summarized and systematized. The main types of impacts of gas transmission infrastructure on environmental components are examined, along with a range of alternatives and environmental protection measures that should be considered within the Environmental Impact Assessment (EIA) procedure. A methodological approach is proposed for determining the current environmental conditions within the area affected by main gas pipelines using geographic information system (GIS) technologies.

Відповідно до вітчизняних і міжнародних вимог процедура ОВД для кожного проєкту газотранспортного об'єкта передбачає обов'язковий розгляд комплексу проєктних альтернатив [1]: «нульового» варіанта (відмови від нового будівництва); альтернативного способу постачання газу (морське транспортування скрапленого газу); реконструкції наявних трубопроводів замість нового будівництва; вибору альтернативних трас і майданчиків під компресорні станції; альтернативних технологій будівництва, що зменшують витрати і підвищують експлуатаційну надійність; зміни конструктивних рішень (зокрема заміни надземного прокладання підземним). Оскільки газопроводи є лінійними спорудами, вибір траси є визначальною альтернативою, яка дає змогу попередити або суттєво зменшити більшість видів екологічного збитку.

Методичну основу дослідження становлять: метод територіального екологічного аудиту з розрахунком коефіцієнтів концентрації та сумарних показників забруднення компонентів довкілля; геоінформаційне моделювання засобами ГІС MapInfo Professional із комп'ютерним накладанням поелементних і покомпонентних еколого-техногеохімічних карт; аналітичний розв'язок рівняння фільтрації рідини (газу) у пористому середовищі методом функцій Гріна та методом інтегральних перетворень Лапласа; емпіричні залежності для розрахунку зони детонації та дальності розповсюдження вибухонебезпечної хмари; техніко-економічний розрахунок збитків відповідно до нормативно-методичного забезпечення оцінювання наслідків надзвичайних ситуацій [1, 2].

Основний статистичний дизайн порівнює кожну зону з очищеним контролем 1000–2000 м. Для зменшення відмінностей структури угідь ключова статистика обчислювалася лише для WorldCover класів 30 (grassland) та 40 (cropland). Це суттєво надійніше за порівняння всіх пікселів, де забудова, вода й ліси можуть створювати штучний градієнт.Інтерпретація: $\Delta NDVI < 0$ — менше зеленої рослинності; $\Delta NDMI < 0$ — нижча вологозабезпеченість; $\Delta BSI > 0$ — більша частка оголеного/порушеного ґрунту. Ці критерії є індикативними, а не нормативними порогами забруднення.

Управління екологічною безпекою газотранспортних об'єктів потребує об'єктивної просторової оцінки сучасного стану компонентів довкілля. У межах запропонованої методології така оцінка виконується шляхом комп'ютерної інтеграції поелементних і покомпонентних еколого-техногеохімічних карт засобами геоінформаційних систем (ГІС) [2].

Висновки та практичне значення. Систематизовано методологію екологічного оцінювання впливів магістральних газопроводів на навколишнє середовище, яка об'єднує геоінформаційне картографування сучасної екологічної ситуації, математичне моделювання поширення забруднень при витоках, прогнозування зони детонації при аваріях та розрахунок сумарного еколого-економічного збитку в єдиний послідовний алгоритм, застосовний на різних стадіях процедури ОВД.

Список літератури:

1. Мокін В. Б. (2014). Геоінформаційні системи в екології : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2014. 192 с https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/Mokin_2014_192.pdf

.Туць О. М. Екологічні наслідки впливів магістральних газопроводів на навколишнє середовище. ЕБЗР. 2022. №2(26). С.82–90. DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-82-90.

БАЛКО О.Б., БАЛКО О.І., АВДЄЄВА Л.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

СТРАТЕГІЯ ВИЖИВАННЯ ВИДІЛЕНИХ ІЗ РОСЛИН ФІТОПАТОГЕННИХ БАКТЕРІЙ *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* ЗА ДОПОМОГОЮ БІОПЛІВКОУТВОРЕННЯ

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України
03143, вул. Академіка Заболотного, 154, м. Київ, Україна; secretar@imv.org.ua

Abstract. Isolated from plants phytopathogenic *Pseudomonas aeruginosa* UCM B-1107 and UCM B-1108 strains are characterized by a high intensity of biofilm formation with keeping a significant number of viable microorganisms in biofilm, whereas the titer of cells in planktonic form is considerably more variable. It indicates that phytopathogenic microorganisms' strategy consists in surviving within the plant colonization site and limited spread outside; this renders them more resistant to antimicrobial agents that fail to penetrate the biofilm and inhibit the growth of free-living microorganisms only.

Фітопатогенні бактерії характеризуються вираженою шкодочинністю, оскільки здатні спричиняти значні втрати врожаю сільськогосподарських культур [1]. Серед даних патогенів провідне місце займають представники роду *Pseudomonas* [2]. Зазначені мікроорганізми широко поширені у зовнішньому середовищі і характеризуються суттєвою стійкістю до пестицидів, які застосовуються для боротьби із ними [3, 4]. Дана проблема відноситься до однієї із найбільших загроз для рослинництва, тому зусилля багатьох вчених направлені на розробку безпечних для навколишнього середовища речовин, особливо здатних діяти безпосередньо в рослинних системах [5, 6]. Нами було показано, що по відношенню до фітопатогенних штамів *P. syringae* високою активністю характеризуються піоцини [7]. Дані речовини належать до групи бактеріоцинів – антибіотикоподібних речовин із вузьким спектром дії, які є природними засобами антагонізму більшості мікроорганізмів [8]. Для досліджуваних піоцинів характерне одночасне виділення декількох підтипів із різними механізмами дії і здатністю до термоактивації, що може мати значні переваги в рослинництві [9, 10]. Однак мікроорганізмам притаманне явище бактеріальної стигмергії, одним із наслідків якого є їх швидкий перехід за несприятливих умов у біоплівкову форму існування, що підвищує резистентність фітопатогенів до впливу будь-яких препаратів [11, 12]. Розуміння даного явища сприятиме розробці альтернативних антимікробних речовин [13] і зменшенню використання пестицидів та їхньому негативному впливі на навколишнє середовище.

Тому, метою нашої роботи було оцінити стратегію виживання виділених із рослин культур за допомогою біоплівкоутворення, як потенційного фактора антимікробної стійкості.

Матеріали і методи. Об'єктами дослідження були штами *Pseudomonas aeruginosa* УКМ В-1107 і УКМ В-1108, виділені із гнилі цибулі [14]. Вивчення формування біоплівки даними культурами проводили в м'ясо-пептонному бульйоні на склі протягом 7 діб. Інтенсивність біоплівкоутворення оцінювали за площею її покриття скельця, кількістю життєздатних клітин у біоплівковій і планктонній формах.

Результати. Встановлено, що досліджувані штами характеризувались інтенсивним біоплівкоутворенням. Так, площа сформованої біоплівки *P. aeruginosa* УКМ В-1107 на 1 добу спостереження становила 51 мм^2, тоді як на 2 добу було відмічено трьохкратне зростання до 159 мм^2. В подальшому інтенсивність накопичення дещо сповільнювалась, однак її динаміка характеризувалась тенденцією до лінійного зростання із досягненням максимальних показників 189 мм^2 на 6 добу культивування. Для ізоляту УКМ В-1108 накопичення біоплівки на 1 добу було менш вираженим і становило 25 мм^2. Однак вже на наступну добу покриття зразка підвищувалось більш ніж у 6 разів до 160 мм^2, тоді як максимальні значення було виявлено на 3 добу – 217 мм^2. Протягом подальшого періоду спостереження накопичення біоплівки залишалось на досягнутому рівні із незначними коливанням в межах до 188 мм^2.

Слід зазначити, що додатково до значної інтенсивності біоплівкоутворення, титри життєздатних мікроорганізмів у біоплівковій формі також були високими. Максимальні показники для обох культур спостерігались вже на 1 добу культивування і становили 2×10^7 КУО/мл для штаму УКМ В-1107 і 1.8×10^7 КУО/мл - для УКМ В-1108. При подальшому спостереженні кількість клітин *P. aeruginosa* УКМ В-1107 поступово, майже лінійно знижувалась, хоча на 7 добу титр залишався все ще високим і становив 4.5×10^5 КУО/мл. Натомість, для штаму УКМ В-1108 на 2 добу спостерігали часткове зменшення кількості клітин на один порядок, тоді як протягом двох наступних діб їх титр повторно

зростала до 1×10^7 КУО/мл і лише після цього була відмічена тенденція до подальшого зниження із досягненням 7.1×10^4 КУО/мл на кінець спостереження.

Накопичення клітин у планктонній формі обох культур характеризувалось схожою динамікою. Так, найвища кількість була відмічена на 1 добу і становила $2\text{-}3\times10^9$ КУО/мл. Після цього протягом 4-5 діб відбувалось поступове зниження титру до $2\text{-}2.5\times10^7$ КУО/мл із наступним повторним зростанням кількості мікроорганізмів до 4×10^8 КУО/мл на 7 добу інкубування.

Таким чином, виділеним із рослин штамам *P. aeruginosa* УКМ В-1107 і УКМ В-1108 притаманна висока інтенсивність формування біоплівки, яка утримується протягом 7 діб спостереження із збереженням у її складі значної кількості життєздатних мікроорганізмів. Титр вільноіснуючих клітин у планктонній формі є значно варіабельнішим із вираженими коливаннями в межах двох порядків. Наведене свідчить, що стратегія фітопатогенних мікроорганізмів полягає у виживанні в ділянці колонізації рослини і обмеженому поширенні за її межі, що робить їх завідомо більш стійкими до впливу будь-яких антимікробних препаратів, які не проникають у біоплівку, а лише пригнічують ріст вільноіснуючих мікроорганізмів.

Список літератури:

1. Dankevych, L., Zarudniak, M., Patyka, V., Dankevych, A., & Mychnik, F. (2024). Phenotypical Characteristics of Walnut's (Juglans sp.) Bacterial Diseases Agent. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, *86*(5), 20-31. https://doi.org/10.15407/microbiolj86.05.020
2. Hnatiuk, T. T., Zhytkevych, N. V., Petrychenko, V. F., Kalinichenko, A. V., Patyka, V. P. (2019). Soybean Diseases Caused by Genus Pseudomonas Phytopathenes Bacteria. *Microbiological Journal*, 81 *(3)*, 68-83. https://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000995143
3. Kotsofliak, O. I., Kiprianova, E. A., & Levanova, G. F. (2004). Taxonomic analysis of Pseudomonas strains with uncertain taxonomic status. *Mikrobiolohichnyi zhurnal (Kiev, Ukraine : 1993)*, *66*(3), 5–13. PMID: 15456213
4. Pasichnyk, L. A. (2016). The Spectrum of Weed Phytopathogens in Wheat Agrophytocenosis. *Microbiological Journal*, 78 *(6)*, 19-28. https://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000673601
5. Ovcharenko, O., Zholobak, N., Rudas, V. & Kuchuk M. (2025). Plant Systems as Platforms for the Production of Interferon Alpha and its Application. *Cytology and Genetics*,59. 622–633 https://doi.org/10.3103/S0095452725060088
6. Udovenko, Y. & Ovcharenko, O. (2025). Optimisation strategies for sustainable molecular farming. *Biological Systems: Theory and Innovation*, *16*(3). 10-25. https://doi.org/10.31548/biologiya/3.2025.10
7. Balko, O., Zelena, L., Balko, O., & Avdeeva, L. (2024). Pyocin S5 activity against *Pseudomonas syringae* phytopathogenic strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *13*(6), e5607. https://doi.org/10.55251/jmbfs.5607
8. Balko, O. I., Balko O. B., Avdeeva, L. V. (2020) Bacteriocins of some groups of Gram-negative bacteria. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, 82(3), 71-84. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.071
9. Balko O. B. (2021). Interaction between S-Type Pyocins and Microcin-II-Like Bacteriocins in *Pseudomonas aeruginosa*. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, *83*(3). 72-80. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj83.03.072
10. Balko, O. I., Balko, O. B., & Avdeeva, L. V. (2019). Thermoactivation of Pseudomonas aeruginosa Pyocins. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, 81(5), 85-97. https://doi.org/10.15407/microbiolj81.05.085
11. Morozova, N., Marievskyi, V., Korobkova I., Golovchak, G., Popov O., Balko O., & Balko O. (2026). Medical Aspects of Bacterial Stigmergy. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, *88*(2), 98-110. https://doi.org/10.15407/microbiolj88.02.098
12. Balko, O. I., Balko O. B., Yaroshenko L. V., Skorik M. A., & Avdeeva L. V. (2017). Resistance of *Pseudomonas aeruginosa* UCM B-1 population to silver nanoparticles at early stages of biofilm formation. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*,*79* (6), 71-81. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj79.06.071
13. Elbehiry, A., & Marzouk, E. (2026). Beyond Resistance Genes: *Pseudomonas aeruginosa* as a Complex Adaptive System Driving Persistence, Evolution, and Antimicrobial Resistance. *Life*, *16*(7), 1163. https://doi.org/10.3390/life16071163
14. Pidgorskyi, V. S., Kotsofliak, O. I., Kiprianova, O. A., & Gvosdiak, O. R. (2007). *Ukrainian collection of microorganisms. Catalogue of cultures*. Kyiv: Naukova Dumka.

СТЕЦЮК Л.М., КЕДРУН В.О. (УКРАЇНА, РІВНЕ)

СЕЗОННА ДИНАМІКА ЯКОСТІ ВОДИ ОЗЕРА БАСІВ КУТ І ПЕРСПЕКТИВА БІОІНДИКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ *CHLORELLA VULGARIS*

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна; v.o.kedrun@nuwm.edu.ua

Abstract. The thesis assesses the current ecological condition of Lake Basiv Kut using monitoring data and field observations. Particular attention is given to seasonal water quality changes, intensive algal development, and the cultivation of *Chlorella vulgaris*. The study substantiates the potential use of this algae for bio indication of the lake's ecological state and applies a biotic coefficient to assess the response of the test culture. The results provide a basis for developing an adapted bioindication approach to monitoring urban water bodies and environmental management recommendations.

Матеріали щодо озера Басів Кут у м. Рівне охоплюють результати лабораторних досліджень за травень-серпень 2025 р., узагальнення п'ятирічних спостережень, відомості про локальне культивування *Chlorella vulgaris* та візуальні спостереження за актуальним станом водойми. Зібрані дані дають змогу простежити сезонні зміни окремих мікробіологічних, органолептичних і санітарно-хімічних показників та визначити вихідну основу для запланованої біоіндикаційної оцінки.

У травні 2025 р. індекс ЛКП становив 1400-240000/дм³ за наведеного у матеріалах нормативного значення ≤5000/дм³. $БСК_5$ перебувало в межах 3,0-9,0 мг O_2/дм³, ХСК - 5,0-50,0 мг O_2/дм³. У червні індекс ЛКП знизився до 190-900/дм³, однак фаги кишкової палички становили 266 в 1 л за норми ≤100 в 1 л; максимальні значення $БСК_5$ і ХСК зросли відповідно до 24,0 та 80,0 мг O_2/дм³. У липні індекс ЛКП становив 500-6200/дм³, $БСК_5$ - 3,0-35,0 мг O_2/дм³, ХСК - 30,0-70,0 мг O_2/дм³. У серпні індекс ЛКП залишався в межах 600-6200/дм³, було виділено холероподібний вібріон, а максимальні значення $БСК_5$ і ХСК досягли 55,0 та 100,0 мг O_2/дм³. Повна динаміка показників якості води відображена у (табл.1).

Таблиця 1

Повна динаміка показників якості води озера Басів Кут у 2025 р.

Показник(Од. вим.)	30.05.2025	25.06.2025	23.07.2025	25.08.2025
Індекс ЛКП (1/дм³)	1400–240000	190–900	500–6200	600–6200
Забарвлення (см)	2,0–2,5	0,5–1,5	0,5–1,5	0,5–1,0
Запах (бали)	1–2	1–2	1–2	1–2
$БСК_5$ ($мгO_2$/дм³)	3,0–9,0	3,0–24,0	3,0–35,0	2,8–55,0
ХСК ($мгO_2$/дм³)	5,0–50,0	10,0–80,0	30,0–70,0	30,0–100,0
Азот амонійний (мг/дм³)	0,13–0,23	0,52–2,0	0,52–2,0	0,75–0,96
Нітрати (мг/дм³)	0,04–6,4	0,04	0,04	0,04
Нафтопродукти (мг/дм³)	0,005	0,005–0,006	0,005–0,006	0,005–0,008

Нормативні значення: *індекс ЛКП ≤ 5000/дм³; забарвлення ≥ 10 см; запах ≤ 1 бал; $БСК_5 ≤ 3$ $мгO_2$/дм³; ХСК ≤ 30 $мгO_2$/дм³; азот амонійний ≤ 2,0 мг/дм³; нітрати ≤ 45,0 мг/дм³; нафтопродукти ≤ 0,3 мг/дм³.*

За весь період травень-серпень вміст нітратів і нафтопродуктів не перевищував наведених у матеріалах нормативних значень: нітрати змінювалися від 0,04 до 6,4 мг/дм³ при нормі ≤ 45,0 мг/дм³, нафтопродукти - від 0,005 до 0,008 мг/дм³ при нормі ≤0,3 мг/дм³. Азот амонійний змінювався від 0,13 до 2,0 мг/дм³ при нормі ≤ 2,0 мг/дм³. Водночас органолептичні спостереження протягом сезону фіксували забарвлення 0,5-2,5 см за наведеного нормативу ≥ 10 см і запах 1-2 бали при нормі ≤ 1 бала.

П'ятирічні лабораторні спостереження підтверджують значну мінливість окремих показників. Індекс ЛКП змінювався від 500 до 240000/дм³, фаги кишкової палички - від 100 до 266 в 1 л; періодично виявлялися цисти лямблій, також фіксувався холероподібний вібріон. Значення pH становили 8,0-8,68 при наведеній нормі 6,5-8,5; $БСК_5$ - 3,0-55,0 мг O_2/дм³ при нормі ≤ 3 мг O_2/дм³; розчинений кисень - 11,5-22,4 мг/дм³ при нормі ≥ 4,0 мг/дм³. Завислі речовини становили 6,8-44 мг/дм³, сухий залишок - 302,0-460,0 мг/дм³, хлориди - 26,0-76,9 мг/дм³, сульфати - 10,8-68,4 мг/дм³, нітрити - 0,003-0,55 мг/дм³.

Окремий блок зібраних матеріалів стосується практичного використання *Chlorella vulgaris* на базі парку історичної реконструкції «Оствиця» у Рівному. Там створено першу версію біореактора для розмноження одноклітинної водорості. Для живлення застосовувалося NPK-добриво у пропорції 1 столова ложка на 5 л розчину хлорели. За один літній сезон до озера внесено близько 2 м³ (2000 л) вирощеного розчину. Подальше вдосконалення установки передбачало використання балонів CO_2 та

люмінесцентних ламп денного світла з холодним спектром; у розчині також застосовувалася бактерія каліус (*Bacillus subtilis* та *Bacillus licheniformis)*, що працює разом із водоростями (рис.1).

Візуально актуальний стан водойми характеризувався темними тяжами, що нагадували плівку, розлиту фарбу або дрібнодисперсну суспензію та збивалися у смуги під дією вітру чи слабкої течії. Це є типова і дуже виражена візуальна ознака активного цвітіння ціанобактерій (рис.2).



Рис. 1. Біореактор для культивування *Chlorella vulgaris*



Рис. 2. Візуальний стан води з темними тяжами

Для подальшої біоіндикаційної оцінки в матеріалах заплановано застосування біотичного коефіцієнта $K_{bio} = \mu_д/\mu_к$, де $\mu_д$ - швидкість росту в досліді, а $\mu_к$ - швидкість росту в контролі. Швидкість росту пропонується визначати за формулою $\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$, де N_0 - початкова концентрація клітин хлорели або оптична щільність проби, N_t - кінцева концентрація клітин або оптична щільність через час t, t - тривалість культивування [1].

У наданій схемі інтерпретації $K_{bio} < 0,8$ відповідає токсичній дії з інгібуванням росту; $0,8 \leq K_{bio} \leq 1,2$ - зоні відносної норми; $K_{bio} > 1,2$ - евтрофікаційній дії зі стимуляцією росту. Для останнього випадку у матеріалах зазначено, що перенасичення води біогенними елементами може діяти як добриво та сигналізувати про високий евтрофікаційний потенціал і ризик «цвітіння» водойми [1].

Отже, зібрані дані для озера Басів Кут демонструють сезонне збільшення максимальних значень $БСК_5$ і ХСК упродовж літнього сезону останніх 5 років, значну мінливість мікробіологічних показників, окремі відхилення органолептичних характеристик та виражені візуальні ознаки цвітіння ціанобактерій. Наступним етапом дослідження визначено створення адаптованої методики біоіндикаційної оцінки урбанізованих водойм, формування бази даних щодо сезонної динаміки їх екологічного стану та розроблення рекомендацій для органів місцевого самоврядування і природоохоронних установ.

Список літератури:

1. Стецюк Л.М., Кедрун В.О. Екологічна оцінка стану водних об’єктів міських територій методами біоіндикації з використанням мікроводоростей Chlorella. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки». 2026. № 2(114), ч. 2. С. 271–283.

ВЕНГЕР Л.О.,[1,2] БЄЛОКОНЬ К.В.[2], ВЕНГЕР Я.А.[1],
АДАНІК О.О.[2] (УКРАЇНА, ЛЬВІВ, ЗАПОРІЖЖЯ)

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПОТРАПЛЯННЯ НАФТОПРОДУКТІВ У ҐРУНТИ ТА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ РУЙНУВАНЬ

[1]Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вулиця Степана Бандери 12, Львів, Україна; ljuvenger77@gmail.com
[2]Запорізький національний університет; kv.belokon@gmail.com

Abstract. The hostilities in Ukraine have caused significant anthropogenic stress on the soil cover and aquatic ecosystems. One of the most dangerous factors is the release of petroleum products into the natural environment as a result of the destruction of oil depots, fuel storage facilities, industrial enterprises, and transportation and energy infrastructure. Petroleum products are characterized by high toxicity, the ability to migrate through the soil profile, and the long-term persistence of certain components in natural ecosystems. This paper examines the main sources of oil pollution, the mechanisms of its spread in soils and water bodies, the environmental consequences, and priority measures for monitoring and remediating contaminated areas. It justifies the feasibility of a comprehensive approach combining laboratory, remote sensing, and geoinformation methods for assessing pollution.

Повномасштабна війна в Україні сформувала новий масштаб екологічних ризиків, пов'язаних із пошкодженням промислових, енергетичних, транспортних та складських об'єктів. Особливо небезпечними є аварійні викиди та розливи нафтопродуктів, які виникають під час ураження нафтобаз, паливних складів, автозаправних станцій, промислових підприємств, транспортних засобів і енергетичних об'єктів.

Нафтопродукти можуть потрапляти у довкілля у вигляді рідких розливів, аерозолів, продуктів горіння та забруднених поверхневих стоків. Після потрапляння на земну поверхню частина вуглеводнів затримується у верхньому шарі ґрунту, частина випаровується, а розчинні компоненти можуть проникати у глибші горизонти та досягати ґрунтових вод. За наявності опадів забруднювальні речовини можуть переноситися поверхневим стоком до річок, озер, водосховищ та інших водних об'єктів.

Дослідження наслідків війни в Україні підтверджують поширеність забруднення ґрунтів нафтовими вуглеводнями. Зокрема, у Харківській, Херсонській та Запорізькій областях зафіксовано значне збільшення площ і рівнів забруднення, пов'язаного з військовими діями та розливами нафтопродуктів [1]. Сучасні дослідження також демонструють, що горіння військової техніки та пошкодження паливної інфраструктури є безпосередніми джерелами нафтового забруднення ґрунтів [2].

Особливу небезпеку становлять великі аварійні розливи. Наприклад, сучасні дослідження забруднення українських річок встановили значне погіршення якості поверхневих вод після ураження паливної інфраструктури. Для окремих досліджених річок максимальні концентрації нафтових вуглеводнів становили 5,2–14,8 мг/л, а період відновлення якості води залежав від гідрологічних умов та інтенсивності природного самоочищення [3].

Таблиця 1

Основні джерела нафтового забруднення внаслідок воєнних руйнувань

Джерело забруднення	Механізм потрапляння	Основні компоненти забруднення	Потенційний об'єкт впливу
Нафтобази та паливні склади	Руйнування резервуарів, пожежі, розливи	Вуглеводні, бензин, дизельне паливо, мастила	Ґрунт, підземні та поверхневі води
Пошкоджена техніка	Витік пального та мастил	Нафтові вуглеводні, мастильні матеріали	Ґрунти, рослинність
Промислові підприємства	Руйнування технологічних ємностей	Паливо, мастила, технологічні рідини	Ґрунти, водойми
Енергетична інфраструктура	Пошкодження трансформаторів та резервуарів	Нафтопродукти, продукти горіння	Ґрунт, поверхневий стік
Транспортна інфраструктура	Аварії, пошкодження цистерн	Бензин, дизельне паливо	Ґрунти, дороги, водотоки
Пожежі	Неповне згоряння пального	Вуглеводні, поліциклічні ароматичні вуглеводні, сажа	Повітря, ґрунт, вода

Після аварійного розливу нафтопродукти проходять низку фізико-хімічних і біологічних трансформацій. На першому етапі відбувається розтікання забруднювача по поверхні ґрунту. Частина легких фракцій випаровується, частина адсорбується ґрунтовими частинками, а частина інфільтрується у глибші шари.

Інтенсивність вертикальної міграції залежить від гранулометричного складу ґрунту, його вологості, проникності, вмісту органічної речовини, рівня ґрунтових вод та кількості опадів. Піщані та супіщані ґрунти можуть сприяти швидшому проникненню розчинних компонентів до ґрунтових вод.

На рисунку 1 зображені основні шляхи міграції нафтопродуктів у довкілля.



Рис. 1. Основні шляхи міграції нафтопродуктів у довкіллі

Особливістю нафтового забруднення є його здатність одночасно впливати на декілька компонентів екосистеми. Забруднення ґрунту може призвести до пригнічення ґрунтової мікрофлори, зниження ферментативної активності та порушення водно-повітряного режиму. Нафтова плівка на поверхні водойм обмежує газообмін між водою та атмосферою, а токсичні компоненти негативно впливають на водні організми.

Дослідження ґрунтів у районах воєнних дій показують, що нафтове забруднення може поєднуватися із забрудненням важкими металами та продуктами вибухів, формуючи складний комбінований вплив [2, 4].

Нафтове забруднення змінює фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунтів. Плівка нафтопродуктів може закупорювати ґрунтові пори, зменшувати водопроникність і порушувати газообмін. Внаслідок цього погіршуються умови розвитку рослин та ґрунтових мікроорганізмів.

Важливим наслідком є порушення процесів ґрунтоутворення та кругообігу поживних речовин. Забруднені ділянки можуть втрачати сільськогосподарську продуктивність, а відновлення їх функціонального стану може тривати роками.

У разі значного забруднення виникає також ризик потрапляння нафтових компонентів у рослини. Це створює додаткову загрозу для сільськогосподарських земель та продовольчої безпеки.

Практичне дослідження наслідків руйнування нафтобази в Київській області показало, що розлив нафтопродуктів може призводити не лише до забруднення ґрунтового покриву, а й до формування осередків забруднення у зоні аерації та ґрунтовому водоносному горизонті [5].

Потрапляння нафтопродуктів у ґрунти та водні об'єкти внаслідок воєнних руйнувань є одним із важливих чинників погіршення екологічного стану територій України. Основними джерелами такого забруднення є пошкодження нафтобаз, паливних складів, промислових і енергетичних об'єктів, транспортної інфраструктури та військової техніки.

Небезпека нафтового забруднення визначається не лише його безпосередньою токсичною дією, а й здатністю забруднювачів мігрувати між компонентами довкілля. Сформований осередок забруднення може поширюватися від ґрунту до ґрунтових вод, а з поверхневим стоком – до річок, озер та водосховищ.

Для територій, постраждалих від воєнних дій, доцільно застосовувати інтегровану систему екологічного моніторингу, що поєднує дистанційне зондування Землі, обстеження за допомогою БПЛА, лабораторний аналіз проб та геоінформаційне моделювання. Такий підхід дозволить оперативно визначати межі осередків забруднення, встановлювати напрями міграції нафтопродуктів і визначати пріоритетні ділянки для ремедіації.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення комплексних карт екологічного ризику для територій, де внаслідок воєнних руйнувань виникли осередки нафтового забруднення, а також на оцінювання ефективності біологічних і фізико-хімічних методів відновлення ґрунтів та водних екосистем.

ПОКШЕВНИЦЬКИЙ А.С. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОРФОВИХ ПОКЛАДІВ ЯК ІНДИКАТОРИ ІНТЕНСИВНОСТІ ГЕОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОМИСЛОВОМУ ВИДОБУТКУ

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»; 03142, м. Київ, пр. Академіка Палладіна, 34А; nttn@i.ua

Abstract The geochemical response of peat deposits to drainage and industrial extraction depends on their physico-chemical properties. Ash content, degree of decomposition, moisture, sulphide mineral fraction and groundwater level can be used as predictors of geochemical processes. These properties are related to heavy metal mobilisation, acid drainage, aerobic mineralisation of organic matter and dust migration. Differentiation of peat deposits by their geochemical risk profile provides a basis for selecting priority environmental monitoring parameters and restoration measures.

Торфові поклади є природними геохімічними акумуляторами важких металів і природних радіонуклідів. Стабільність накопичених компонентів пов'язана з водонасиченим відновним середовищем. Промисловий видобуток торфу передбачає осушення покладу, унаслідок чого змінюються окисно-відновні умови, інтенсивність мінералізації органічної речовини та рухомість хімічних компонентів. Тому однаковий за характером вплив осушення може мати різні геохімічні наслідки залежно від фізико-хімічних властивостей конкретного покладу.

Дослідження показало, що показники, які визначаються під час геологорозвідувальних робіт, можуть розглядатися як геохімічні предиктори. До основних належать зольність, ступінь розкладу, тип органічної речовини, вологість і глибина залягання ґрунтових вод. Додаткове значення мають наявність сульфідної мінеральної фракції та вихідний pH покладу. Їх використання дає можливість пов'язати вихідні характеристики родовища з очікуваною інтенсивністю окремих геохімічних процесів.

Першим напрямом впливу є мобілізація важких металів. Зі збільшенням зольності зростає частка мінеральної складової, здатної містити сорбовані компоненти, а підвищення ступеня розкладу супроводжується зміною органічного матриксу та умов утримання металів. Для оцінювання підвищеного ризику у дослідженні розглядаються значення зольності понад 15 %, ступеня розкладу понад 35 % та глибини залягання ґрунтових вод менше 1,5 м. За таких характеристик необхідна підвищена увага до можливого надходження мобільних форм металів у ґрунт і водне середовище.

Другим процесом є окиснення піриту з формуванням кислого дренажу. Після осушення доступ кисню до сульфідної мінеральної фракції зростає, що може супроводжуватися утворенням кислих продуктів окиснення. Вихідний pH менше 5,5 та наявність піриту в геологічному розрізі розглядаються як ознаки підвищеної уваги під час екологічного оцінювання. Зниження pH, у свою чергу, може посилювати мобілізацію окремих металів.

Третій процес пов'язаний з аеробною мінералізацією органічної речовини та надходженням розчиненого органічного вуглецю (РОВ). Слаборозкладений торф містить значний запас лабільної органічної речовини. Після осушення та аерації інтенсивність її мінералізації зростає, що може збільшувати експорт РОВ, амонійного азоту та інших компонентів із дренажними водами. Для такого процесу інформативними є ступінь розкладу, вологість і вміст гумінових кислот; підвищена увага необхідна, зокрема, за $R < 30$ % та $W > 85$ % [1, 2].

Четвертим процесом є пилова емісія та атмосферна міграція металів під час механічної деструкції торфу. Зменшення вологості знижує злипність частинок і полегшує їх аерозолювання. За підвищеної зольності у пиловій фракції може збільшуватися вміст металів. Ознаками підвищеного ризику розглядаються $W < 75$ % у сезон фрезерування та $Ad > 15$ % [3].

Наведені залежності показують, що характер геохімічного ризику визначається поєднанням властивостей покладу та умов його осушення. Слаборозкладені поклади з низькою зольністю характеризуються більшою кількістю лабільної органічної речовини, тому для них важливим є контроль РОВ і стану поверхневих вод. Для добре розкладених покладів із підвищеною зольністю більшого значення набувають мобілізація металів, стан ґрунтів і якість підземних вод. Отже, однаковий набір моніторингових показників для всіх ділянок не забезпечує однакової інформативності.

При оцінюванні впливу промислового видобутку доцільно зіставляти фізико-хімічні характеристики торфу з компонентами довкілля, які можуть бути реципієнтами міграційних потоків. Для поверхневих вод пріоритетними є показники, пов'язані з дренажним стоком і надходженням РОВ;

для підземних вод та ґрунтів – показники, що характеризують мобільність металів; у період фрезерування – вологість торфу та зольність у зв'язку з пиловою міграцією. Така диференціація відповідає завданню екологічного моніторингу та оцінювання ризику.

Для вироблених торфових ділянок результати оцінювання фізико-хімічних властивостей можуть бути використані при виборі подальших заходів. Відновлення водного режиму і повторне обводнення спрямовані на повернення водонасичених умов та обмеження окиснювальних процесів. Водночас необхідність і послідовність таких заходів мають визначатися фактичним станом конкретної ділянки та результатами спостережень за водним середовищем.

Результати оцінювання можуть бути використані також для визначення послідовності природоорієнтованих заходів після завершення видобутку. Повторне обводнення змінює окисно-відновні умови та обмежує доступ кисню до органічної речовини і сульфідних мінералів. Однак відновлення водного режиму має оцінюватися разом із початковим геохімічним станом ділянки, оскільки зміна умов може впливати на вже накопичені мобільні форми компонентів. Саме тому рішення щодо відновлення мають спиратися на результати моніторингу води, ґрунтів і характеристик торфу.

Важливим є врахування просторової неоднорідності торфових покладів. На одній виробничій площі можуть поєднуватися шари з різним ступенем розкладу, зольністю та вологістю, а зміна гідрологічного режиму відбувається нерівномірно. Унаслідок цього однакові заходи осушення або механічного видобутку можуть спричиняти різну інтенсивність міграції органічних і мінеральних компонентів. Для поверхневих вод особливо важливим є контроль дренажного стоку та РОВ, для підземних вод – оцінювання мобільності металів і кислотності, а для періодів фрезерування – вологості та зольності торфу.

Таким чином, для промислово порушених торфових територій доцільним є поєднання контролю властивостей торфу з моніторингом поверхневих і підземних вод. Такий підхід дає можливість пов'язати зміни у покладі з фактичними змінами стану компонентів довкілля та своєчасно визначати ділянки, для яких необхідні додаткові спостереження або природоорієнтовані заходи відновлення.

Встановлені залежності мають значення не лише для характеристики окремих властивостей торфу, а й для визначення напрямів подальшого контролю. Зокрема, поєднання показників вологості, зольності та ступеня розкладу дає змогу попередньо оцінити, які процеси можуть бути домінуючими після осушення і механічного порушення покладу. Для ділянок із низькою вологістю та підвищеною зольністю більшої уваги потребують процеси, пов'язані з міграцією мінеральних компонентів і утворенням пилу. За високої вологості та низького ступеня розкладу доцільно контролювати зміни органічної речовини, розчиненого органічного вуглецю та пов'язані з ними зміни якості води.

Практичне значення такого підходу полягає в тому, що фізико-хімічні характеристики покладу визначаються до початку або на ранніх етапах розробки, тоді як безпосереднє вимірювання всіх можливих геохімічних наслідків потребує тривалих спостережень. Тому зольність, ступінь розкладу, вологість, pH, склад мінеральної частини та рівень ґрунтових вод доцільно використовувати для попередньої диференціації ділянок за потенційними напрямами впливу. Така оцінка не замінює моніторинг, а визначає його пріоритети та склад показників.

Таким чином, фізико-хімічні властивості торфових покладів доцільно використовувати як предиктори геохімічних процесів при промисловому видобутку. Їх диференційоване врахування дає змогу визначати потенційно пріоритетні процеси, обґрунтовувати склад екологічного моніторингу та оцінювати можливі шляхи надходження компонентів до водних і ґрунтових екосистем. Подальше уточнення кількісних залежностей потребує польової перевірки на конкретних торфових родовищах.

Список літератури:

1. Williamson, J., Evans, C., Spears, B. et al. (2023). Reviews and syntheses: Understanding the impacts of peatland catchment management on dissolved organic matter concentration and treatability. Biogeosciences, 20, 3751–3766. https://doi.org/10.5194/bg-20-3751-2023.
2. Frei, R. J., Abbott, B. W., Dupas, R. et al. (2024). Impact of peat extraction on downstream concentrations and attenuation of dissolved organic carbon and nutrients. Water Resources Research, 60(9), e2024WR037397. https://doi.org/10.1029/2024WR037397.
3. Apori, S. O., Giltrap, M., Dunne, J., & Tian, F. (2024). Human health and ecological risk assessment of heavy metals in topsoil of different peatland use types. Heliyon, 10(13), e33624. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33624.

МАХНЯК А.Я. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

АДАПТАЦІЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; andrii.y.makhniak@lpnu.ua

Abstract. Based on the theory of statistical process control and robust statistics, an architecture of an integrated automated environmental air monitoring system for industrial enterprises has been developed. An innovative approach to the analysis of high-frequency data from portable laser sensors is proposed, which involves the adaptation of the dynamic part average testing methodology, the exponentially weighted moving average algorithm, and the cumulative sum method, rather than relying on traditional comparisons with maximum permissible concentrations and the use of complex machine learning models.

Інтенсивний розвиток промисловості вимагає впровадження новітніх систем екологічного моніторингу для оперативного контролю твердих частинок (PM2.5, PM10). Традиційні стаціонарні системи з тривалим періодом усереднення вимірювань не забезпечують необхідної просторово-часової роздільної здатності для розмежування локальних викидів підприємств та загальноміського фону. Водночас сучасні мережі високочастотних сенсорів вкрай схильні до апаратного шуму, хибних спрацьовувань та деградації. З огляду на ці бар'єри, виникає потреба у пошуку обчислювально легких алгоритмів для запуску на недорогих мікроконтролерах, які б ефективно працювали в режимі реального часу.

Запропоновано концептуально новий підхід до розроблення архітектури автоматизованого локального моніторингу якості атмосферного повітря, що ґрунтується на математичному апараті робастної статистики. Ця методологія передбачає принциповий перехід від традиційного статичного порівняння показників із фіксованими гранично допустимими концентраціями до динамічного виявлення аномальних викидів у режимі реального часу. На відміну від класичних стаціонарних методів, які не здатні забезпечити високу просторово-часову роздільну здатність для фіксації раптових змін, застосування робастних статистичних інструментів дозволяє адаптувати межі відбракування виключно до поточних умов конкретного техногенного підприємства. Водночас така архітектура виступає обчислювально легкою та математично прозорою альтернативою складним моделям машинного та глибокого навчання. Вона дозволяє повністю усунути проблему, властиву нейромережам, та гарантує можливість інтеграції алгоритмів безпосередньо у локальні мікроконтролери (вбудовані системи) для оперативного прийняття управлінських рішень.

Для усунення високочастотного апаратного шуму застосовується фільтр експоненційно зваженого ковзного середнього. Розрахункове значення цього фільтра у момент часу t визначається формулою:

$$Z_t = \lambda \cdot X_t + (1 - \lambda) \cdot Z_{t-1} \quad (1)$$

З метою розмежування впливу навколишнього середовища та техногенних викидів використовується багатовимірна статистика Хотеллінга (Hotelling's T^2). Її розрахункова формула має вигляд:

$$T^2 = n \cdot (x - \mu_0)' S^{-1} (x - \mu_0) \quad (2)$$

Для виявлення одиничних екстремальних викидів адаптовано метод динамічного відбракування, що використовує медіанне абсолютне відхилення (MAD). Це відхилення розраховується за формулою:

$$MAD = Median(|x_i - \tilde{x}|) \quad (3)$$

Перехід до робастного стандартного відхилення (RSD) здійснюється за допомогою масштабного коефіцієнта:

$$RDS = MAD \cdot 1.4826 \quad (4)$$

Динамічні межі відбракування формуються виключно на основі поточних умов підприємства. Верхня та нижня межі відбракування встановлюються на рівні ±6 RSD і розраховуються як:

$$DPAR_{Upper} = \tilde{x} + 6 \cdot RDS \quad (5)$$

$$DPAR_{Lower} = \tilde{x} - 6 \cdot RDS \quad (6)$$

Адаптація строгих методів статистичного контролю якості (SPC) до аналізу екологічних часових рядів створює надійну математичну базу для систем моніторингу. Запропонована архітектура дозволяє ефективно фільтрувати шум, виявляти сталі зміни та динамічні аномалії без залучення обчислювально важких нейромереж. Це забезпечує прозорий, високоточний та оперативний контроль якості атмосферного повітря безпосередньо на виробництвах.

ДУБЛЯК А.В., РІЗНИЧУК Н.І. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ПОПУЛЯЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ АДАПТАЦІЙНИХ РЕАКЦІЙ *ARNICA MONTANA* L. В УМОВАХ EX SITU

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, 76018, м. Івано-Франківськ, Україна; e-mail: nadiia.riznychuk@cnu.edu.ua

Abstract. Adaptive responses of *Arnica montana* L. from eight natural populations were evaluated under common ex situ conditions during 2024–2026. Thirty generative plants were assessed in each natural population, whereas 15 initial genets of each origin were monitored in the Dendrological Park “Druzhba”. Newly formed rosettes were recorded as ramets of the corresponding genet. All groups maintained viability, clonal growth and generative development, while differing in vegetative, generative and phenological traits. In 2026, the mean number of ramets ranged from 4.40 to 5.47 per genet, demonstrating population-related variability of adaptive responses and the conservation value of population-diverse ex situ collections.

Arnica montana L. – багаторічний клональний вид родини Asteraceae, природні популяції якого в Українських Карпатах формуються в неоднорідних висотних та еколого-ценотичних умовах. Попередні дослідження виду в Українських Карпатах засвідчили мінливість його онтогенетичної структури, насіннєвої продуктивності та реакцій на умови культивування (Dubliak et al., 2024; Дубляк та ін., 2025a, 2025b). Стан популяцій виду тісно пов’язаний з їхньою чисельністю, життєвістю особин та рівнем генетичної мінливості (Kahmen & Poschlod, 2000), а введення арніки в культуру розглядають як один зі шляхів зменшення антропогенного навантаження на природні популяції (Sugier et al., 2013). Порівняльне вирощування рослин різного популяційного походження в уніфікованих умовах *ex situ* дає змогу оцінити характер адаптаційної реакції та перспективність довготривалого культивування.

Метою дослідження було оцінити адаптаційний потенціал *A. montana* різного популяційного походження та встановити особливості вегетативного, генеративного і фенологічного розвитку рослин упродовж перших трьох років культивування *ex situ*.

Дослідження проводили у 2024–2026 рр. Матеріал представляв вісім природних популяцій *A. montana* з таких локалітетів: заповідне урочище Бабина Яма, полонина Веснарка, заповідне урочище Печнівське, полонина Свинянка, полонина Псарівка, полонина Гаджина, полонина Луковиця та локалітет у межах природного заповідника «Горгани». У природних популяціях морфометричні обліки проводили на 30 генеративних особинах. Експериментальне культивування здійснювали на території дендрологічного парку «Дружба» в м. Івано-Франківську. Для кожного популяційного походження сформовано групу з 15 вихідних рослин. Вихідну пересаджену рослину розглядали як генет, а новоутворені розетки – як рамети відповідного генета. В умовах культури обліковували висоту рослин, кількість раметів, генеративних пагонів і суцвіть на генет, а також фіксували строки настання основних фенологічних фаз. Результати подано у вигляді M ± m.

Трирічні спостереження засвідчили збереження життєздатності та здатності до подальшого розвитку рослин усіх досліджених популяційних груп. Після першого адаптаційного сезону у 2025–2026 рр. спостерігали клональне розростання, формування генеративних пагонів і суцвіть. У 2026 р. середня кількість раметів у різних групах становила 4,40–5,47 на генет. Найвищі середні значення зафіксовано у рослин походженням з полонини Гаджина (5,47 ± 0,31) та полонини Луковиця (5,33 ± 0,35 рамета на генет).

Таблиця 1

Порівняльні показники природних та інтродукованих груп *Arnica montana* L. у 2026 р.

Локалітет походження	**Висота у природі, см**	**Висота ex situ, см**	**Рамети / генет**	**Ген. пагони / генет**	**Суцвіття / генет**
ур. Бабина Яма	34.72 ± 1.15	41.25 ± 1.20	5.20 ± 0.35	5.40 ± 0.29	7.60 ± 0.35
пол. Веснарка	29.95 ± 0.91	38.28 ± 0.97	4.53 ± 0.29	3.87 ± 0.31	7.13 ± 0.48
ур. Печнівське	34.28 ± 0.87	40.85 ± 1.05	5.00 ± 0.34	4.73 ± 0.41	6.93 ± 0.32
пол. Свинянка	36.57 ± 0.88	42.34 ± 0.78	4.80 ± 0.37	5.13 ± 0.24	7.27 ± 0.44
пол. Псарівка	32.88 ± 0.90	39.11 ± 1.39	4.40 ± 0.35	4.80 ± 0.31	7.47 ± 0.43
пол. Гаджина	32.01 ± 1.03	40.65 ± 1.25	5.47 ± 0.31	4.40 ± 0.39	6.07 ± 0.53
пол. Луковиця	31.35 ± 0.88	39.33 ± 1.29	5.33 ± 0.35	4.33 ± 0.40	6.60 ± 0.29
ПЗ «Горгани»	31.94 ± 0.76	39.57 ± 1.06	5.07 ± 0.38	3.93 ± 0.25	6.40 ± 0.40

Генеративний розвиток зберігався в усіх восьми групах. У 2026 р. середня кількість генеративних пагонів становила 3,87–5,40 на генет, а кількість суцвіть – 6,07–7,60 на генет. Отже, вегетативне розростання не супроводжувалося втратою здатності до генеративного розвитку. Найбільшу кількість генеративних пагонів (5,40 ± 0,29) і суцвіть (7,60 ± 0,35) на генет сформували рослини з ур. Бабина Яма. Водночас у групі з полонини Гаджина найвища інтенсивність клонального розростання поєднувалася з найменшою кількістю суцвіть (6,07 ± 0,53), що може свідчити про неоднаковий розподіл ресурсів між вегетативним і генеративним розмноженням у рослин різного походження. Кількість суцвіть у розрахунку на один генеративний пагін варіювала від 1,38 (пол. Гаджина) до 1,84 (пол. Веснарка), тобто менша кількість генеративних пагонів у частини груп компенсувалася більшою кількістю суцвіть на пагоні. Кореляція між кількістю раметів і генеративних пагонів на генет була практично відсутня (r = 0,03), тобто інтенсивність клонального розростання не визначала рівня генеративного розвитку рослин.

Виявлено також відмінності морфометричних характеристик між рослинами різного походження. У 2026 р. середня висота рослин у природних популяціях становила 29,95–36,57 см, тоді як в умовах дендропарку – 38,28–42,34 см. Спільна тенденція до більшої висоти в культурі відображає реакцію виду на зміну комплексу едафічних і мікрокліматичних чинників, однак інтенсивність цієї реакції залежала від популяційного походження. Приріст середньої висоти в культурі порівняно з природними популяціями становив від 5,77 см (15,8 %) у рослин з полонини Свинянка до 8,33–8,64 см (27,8 і 27,0 %) у рослин з полонин Веснарка та Гаджина. Водночас ранговий порядок груп за висотою значною мірою зберігався: найвищими як у природі, так і в культурі були рослини з полонини Свинянка (36,57 і 42,34 см), а найнижчими – з полонини Веснарка (29,95 і 38,28 см). Коефіцієнт кореляції між середньою висотою рослин у природних популяціях та в умовах дендропарку становив r = 0,91, що вказує на збереження популяційно зумовлених відмінностей і після перенесення рослин в однорідні умови. Отже, збільшення висоти рослин в умовах культури мало переважно кількісний характер і не нівелювало вихідних відмінностей між популяціями, що важливо враховувати під час оцінювання результатів інтродукції виду.

Фенологічні спостереження засвідчили неоднакові строки переходу природних популяцій до генеративної фази та зміщення термінів цвітіння після перенесення до дендропарку. Найвиразніша тенденція до випередження цвітіння була характерна для матеріалу високогірного походження, що може бути пов’язано зі зміною висотного положення, температурного режиму та тривалості вегетаційного періоду. Такі зміщення свідчать про фенологічну пластичність виду та його здатність пристосовуватися до умов, відмінних від умов природного зростання в гірських угрупованнях Українських Карпат.

Таким чином, культивування матеріалу восьми природних популяцій *A. montana* в однакових умовах *ex situ* виявило диференційований характер адаптаційної відповіді при спільному збереженні життєздатності, клонального росту та генеративного розвитку. Формування *ex situ* колекції, що репрезентує різні природні популяції, створює основу для подальшого аналізу популяційно зумовленої мінливості та наукового обґрунтування заходів зі збереження виду. Отримані результати доцільно враховувати під час добору вихідного матеріалу для інтродукції та реінтродукції *A. montana*, надаючи перевагу збереженню популяційного різноманіття, а не культивуванню матеріалу одного походження. Подальші багаторічні спостереження дадуть змогу оцінити стабільність виявлених міжпопуляційних відмінностей, а також насіннєву продуктивність і якість насіння рослин різного походження в умовах культури. Збереження в колекції генетично та екологічно різнорідного матеріалу підвищує її цінність як резерву для відновлення природних популяцій арніки гірської в Українських Карпатах.

Список літератури:

1. Dubliak, A., Riznychuk, N., & Gniezdilova, V. (2024). Ontogenetic structure and seed productivity of *Arnica montana* L. in the Ukrainian Carpathians. Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. Biology, 11, 168–176.

2. Дубляк, А. В., Різничук, Н. І., & Гнєзділова, В. І. (2025a). Насіннєва продуктивність *Arnica montana* L. в умовах Українських Карпат. Екологічні науки, 1(58). https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.16

3. Дубляк, А. В., Різничук, Н. І., & Гнєзділова, В. І. (2025b). Оптимізація умов культивування та фармакологічна ефективність *Arnica montana* L. Екологічні науки, 6(63), 230–239.

4. Sugier, P., Sugier, D., & Gawlik-Dziki, U. (2013). Propagation and introduction of *Arnica montana* L. into cultivation: A step to reduce the pressure on endangered and high-valued medicinal plant species. The Scientific World Journal, 2013, 414363. https://doi.org/10.1155/2013/414363

5. Kahmen, S., & Poschlod, P. (2000). Population size, plant performance, and genetic variation in the rare plant *Arnica montana* L. in the Rhön, Germany. Basic and Applied Ecology, 1(1), 43–51. https://doi.org/10.1078/1439-1791-00007

ПАРАХНЕНКО В.Г. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

БІОІНДИКАЦІЙНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА НОВОАРХАНГЕЛЬСЬКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Уманський національний університет вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська область, 20300 e-mail: vladparachnenko@ukr.net

Abstract. Bioindication is a useful tool for studying environmental conditions at the local level, especially in areas affected by different types of human activity. This study considers the use of lichens and plant bioassays to characterize the ecological condition of Novoarkhanhelsk, Kirovohrad region. The assessment takes into account transport pressure, agricultural land use, residential development and the condition of the Syniukha River. The obtained approach may help identify areas with greater environmental pressure and support further local monitoring and environmental management.

Новоархангельськ розташований у межах Кіровоградської області та має своєрідне природно-географічне положення, що визначає особливості його природних комплексів. Територія населеного пункту пов'язана з долиною Синюхи, яка є складовою басейну Південного Бугу. Наявність річки та прилеглих до неї природних територій формує важливу частину місцевого ландшафту й водночас створює передумови для різноманітного господарського використання земель.

Сучасний стан довкілля населеного пункту визначається одночасною дією природних процесів і діяльності людини. На екологічне навантаження можуть впливати інтенсивність руху транспорту, характер забудови, функціонування комунальних об'єктів, використання земель сільськогосподарського призначення, утворення побутових відходів та рекреаційна діяльність біля водойми. Сукупність цих чинників може проявлятися у зміні стану ґрунтів, рослинності, водних екосистем та атмосферного середовища.

Для оцінювання таких змін доцільно використовувати біоіндикаційні методи. Їх перевага полягає у можливості оцінювати реакцію живих організмів на комплексний вплив середовища, а не лише окремий фізико-хімічний параметр. Біологічні об'єкти можуть відображати наслідки тривалого або повторного впливу забруднювальних чинників, тому результати біоіндикації доцільно розглядати як доповнення до традиційних екологічних спостережень.

Для характеристики стану атмосферного повітря перспективним об'єктом є лишайниковий покрив дерев. Лишайники отримують значну частину необхідних речовин безпосередньо з атмосферного середовища, тому зміни його якості можуть відображатися на видовому складі та розвитку лишайникових угруповань. У Новоархангельську обстеження можна проводити на деревах, розташованих у різних частинах селища. Порівняння видів лишайників, їх трапляння та площі покриття дасть змогу встановити відмінності між ділянками з різним рівнем антропогенного впливу.

Для Новоархангельська доцільним є комплексне застосування біоіндикаційних методів, які охоплюють атмосферне повітря, ґрунтовий покрив і водне середовище. Ліхеноіндикація у поєднанні з рослинним біотестуванням дозволяє отримати додаткову інформацію про реакцію біоти на умови середовища та встановити відмінності між окремими частинами населеного пункту. Регулярне повторення таких досліджень може стати основою для локального екологічного моніторингу та своєчасного виявлення ділянок, на яких необхідні природоохоронні заходи.

Список літератури:

1. Кондратюк С. Я., Мартиненко В. Г., Димитрова Л. В., Корнелюк Н. М. Ліхеноіндикація: посібник. Київ; Кіровоград: КОД, 2006. 260 с.
2. Кондратюк С. Я. Індикація стану навколишнього середовища України за допомогою лишайників. Київ: Наукова думка, 2008. 336 с.
3. Мальцев В. І., Карпова Г. О., Зуб Л. М. Визначення якості води методами біоіндикації: науково-методичний посібник. Київ, 2011. 112 с.
4. Енциклопедія Сучасної України. Новоархангельськ. Інформація про природні умови та водні об'єкти території.

ШАРИЙ Г.І., ТКАЧЕНКО І.В., ШАРА С.Ю. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА)

РЕВІТАЛІЗАЦІЯ ВОДОСХОВИЩ ШЛЯХОМ РЕКОНСТРУКЦІЇ: ПРИНЦИПИ ТА ПРИЙОМИ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36011, проспект Віталія Грицаєнка, 24, м.Полтава,Україна; ab.Sharyi_GI@nupp.edu.ua

Abstract. The article examines the principles and techniques of revitalising the Kremenchuk Reservoir through the phased reconstruction of its functional zones and adjacent areas. The need for an integrated combination of hydraulic engineering, hydromelioration and environmental protection measures is substantiated to improve the ecological condition of the reservoir and reduce siltation, bank erosion and evaporation. A zoning scheme and a peninsula-based reconstruction model for a selected area are proposed. The expected environmental effects include improved water exchange, increased operational storage capacity, restoration of fish wintering habitats and enhanced ecosystem resilience.

Сучасні зміни водного режиму, маловоддя, антропогенне навантаження та деградація водних екосистем зумовлюють необхідність перегляду підходів до функціонування і реконструкції великих водосховищ України. Особливої актуальності набуває проблема Кременчуцького водосховища, яке є важливим елементом Дніпровського каскаду та стратегічним резервуаром прісної води. Водночас тривала експлуатація водосховища супроводжується замуленням, зменшенням площі водного дзеркала, переробкою берегів та скороченням корисного водоакумулюючого об'єму.

Протягом приблизно 65 років робочий об'єм водоакумуляції Кременчуцького водосховища зменшився на 0,6–0,65 км³ унаслідок замулення. На окремих ділянках потужність замулення досягає 2 м. Площа водної поверхні скоротилася приблизно на 32–35 тис. га, а процеси розмиву та переробки берегів охопили понад 2 тис. га. Такі зміни негативно впливають не лише на водоакумулюючу функцію, а й на екологічні характеристики водойми.

Безсистемне будівництво на території Полтавської області близько 2800 ставків та 67 водосховищ, стало одним із чинників виникнення та загострення екологічних проблем у басейнах малих і великих річок регіону.

Ревіталізацію Кременчуцького водосховища запропоновано розглядати як комплексний багатофакторний процес, спрямований на відновлення його водогосподарських та екологічних функцій. Класичний комплекс реконструкційних заходів включає розчищення та поглиблення дна, реконструкцію гідротехнічних споруд, берегоукріплення, модернізацію водозабірних споруд і шлюзових систем. Проте для Кременчуцького водосховища повний спуск води у верхньому б'єфі є неможливим, що визначає необхідність поетапного проведення реконструкції із попереднім функціональним зонуванням території.

Для вибору конкретних заходів запропоновано виділяти функціональні зони водосховища (рис.1) та визначати для кожної з них проблемні ділянки, якісні й просторові характеристики.



Рис. 1. Схема поділу Кременчуцького водосховища на 7 зон (1-7) та прибережної зони на 5 зон (8-12)

На рис. 1 показана схема поділу водосховища на 7 зон: 1, 7 – глибоководні озерної частини; 2,5 – середні озерної частини; 3,4 – верхні озерно-річкові частини; 6 – озерно-річкове – Сулинської затоки, а також поділу частини басейну річки Дніпро, що прилеглий до Кременчуцького водосховища і до визначених зон водосховища: 8 – правобережна зона; 9 - правобережна верхня; 10 – лівобережна верхня; 11 – лівобережна середня; 12 – лівобережна нижня (Посулля). Запропонована система зонування водосховища враховує характеристики озерної частини, існуючі глибини, заповідність територій, нерестилища, водні шляхи.

Окремо розглядається Сулинська затока та річка Сула. Такий підхід дає змогу диференційовано визначати методи та прийоми реконструкції з одночасним збереженням цілісності водного об'єкта.

Важливим принципом запропонованого підходу є розгляд водосховища не як окремого технічного об'єкта, а як складової цілісної водної екосистеми басейну Дніпра. Тому поряд із реконструкцією самого водосховища необхідно вдосконалювати систему водовідведення, мінімізувати надходження промислових і сільськогосподарських забруднень, відновлювати лучно-болотні угіддя та заплави приток, здійснювати заліснення еродованих схилів і прибережних територій. Важливим є також формування басейнового принципу управління водними ресурсами.

П'ята зона визначена як пріоритетна для проведення реконструкційних заходів. Трансформація Кременчуцького водосховища зумовила зміни його морфометричних характеристик, зокрема конфігурації берегової лінії, для якої характерний низький ступінь звивистості із коефіцієнтом 0,12. Одним із перспективних варіантів для окремої частини Кременчуцького водосховища є півострівна модель реконструкції. Вона передбачає формування штучних півостровів із дамбами-дорогами, що дає змогу скоротити площу мілководь та випаровування, збільшити середні глибини і робочий об'єм водосховища. Для п'ятої зони розрахунками передбачено збільшення робочого об'єму майже на 0,4 км³, а середньої глибини – з 5,1 до 6,8 м. Очікуваними результатами є покращення водообміну, формування зимувальних ям для риби, поліпшення екологічного стану водойми та умов судноплавства.

Таким чином, ревіталізація Кременчуцького водосховища має здійснюватися на основі системного поєднання природоохоронних, гідромеліоративних, гідротехнічних та просторово-планувальних заходів. Поетапне зонування і реконструкція дають можливість адаптувати заходи до особливостей окремих територій, а інтеграція водосховища з басейновою екосистемою Дніпра створює передумови для відновлення його екологічної стійкості та довготривалого виконання водогосподарських функцій.

Список літератури:

1. Андреєв, В. Г., & Ганог, Г. В. (2020). Вплив будівництва ставків і водосховищ на екологічну безпеку басейнів малих річок степової зони України (на прикладі Дніпропетровської області). *Меліорація і водне господарство*, (1), 158–166.

2. Гнедіна, К. В. (2021). Сучасні підходи до управління водними ресурсами та механізми їх екологічного моніторингу: досвід країн ЄС та України. *Екологічні науки, 4*(37). https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/4/6.pdf

3. Галушкіна, Т. П., Мусіна, Л. А., Потапенко, В. Г., Машков, О. А., & Курикін, С. І. (2017). *Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні*. Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування. https://iem.org.ua/images/librery/1.pdf

4. Гребінь, В. В., Хільчевський, В. К., Сташук, В. А., Чунарьов, О. В., & Ярошевич, О. Є. (2014). *Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник*. Інтерпрес ЛТД.

5. *Водний кодекс України*. (1995, 6 червня). Закон України № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*, (24), 189. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text

6. *Положення про регіональні кадастри природних ресурсів*. (2001, 28 грудня). Постанова Кабінету Міністрів України № 1781. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1781-2001-%D0%BF#Text

7. *Національна програма адаптації законодавства України до права Європейського Союзу (acquis ЄС).* (2026). Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 1 квітня 2026 р. № 438. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/438-2026-%D0%BF?utm_source=chatgpt.com#Text

8. Шара, С. Ю., Ткаченко, І. В. (2025). ГІС-моніторинг поверхневих вод басейну Дніпра. Комунальне господарство міст, т. 1, № 189, 70–79. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-70-79

ГЕЛЕВЕРА О. (УКРАЇНА, КРОПИВНИЦЬКИЙ)

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛАНДШАФТІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ УКРАЇНИ ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КЛІМАТУ

Центральноукраїнський національний технічний університет
25000, просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна;
heleveraof@kntu.kr.ua

Abstract. Based on continuous instrumental observations from four reference meteorological stations in Central Ukraine (Poltava since 1824, Dnipro since 1833, Kropyvnytskyi since 1874, and Uman since 1885), the rates, intra-annual structure, and landscape-ecological consequences of thermal changes have been quantitatively characterized. A long-term warming trend of +0.14 – +0.17°C per decade was identified, with an acceleration to +0.35 – +0.50°C per decade following the shift in 1988–1990. A pronounced seasonal asymmetry was demonstrated: the temperature increase reached +2.3 – +3.3°C for January and +1.4 – +3.0°C for March, whereas for July and October, it amounted to only +0.0 – +1.5°C. A persistent transition of the average monthly temperature in March across the 0°C threshold into the positive range was observed.

Систематична перебудова теплового балансу приземного шару атмосфери виступає провідним фактором трансформації природних і антропогенних геосистем. Температурний режим безпосередньо регулює фази сніготанення, скресання річкової криги, швидкість і глибину весняного відтавання ґрунту, фенологічні вікна вегетації та критичні ліміти поширення рослинних угруповань.

Центральна Україна (охоплює Кіровоградську, Полтавську, Черкаську та Дніпропетровську області площею близько 140 тис. км²) займає винятково вразливе географічне положення на межі лісостепової та степової зон. Її агроландшафти сформовані за умов рівноваги між лімітованим зволоженням (500–600 мм/рік) і випаровуваністю. За таких умов спрямоване термічне зрушення не просто деформує кліматичні показники, а спричиняє комплексну структурну перебудову водного, ґрунтового та біотичного компонентів ландшафту. Мета роботи – розкрити закономірності багаторічної термічної динаміки у розрізі всіх 12 календарних місяців за 140–202 роки спостережень та оцінити їх ландшафтно-екологічні та агрономічні наслідки.

Вихідною емпіричною базою слугували помісячні ряди середньої температури повітря мережі Українського гідрометеорологічного центру на чотирьох станціях із найдовшим безперервним періодом інструментальних спостережень: Полтава (1824–2026 рр., 202 роки), Дніпро (1833–2026 рр., 192 роки), Кропивницький (1874–2026 рр., 148 років) та Умань (1885–2026 рр., 140 років). Пропуски воєнних років (1941–1945 рр.) виключено з розрахунків без штучної інтерполяції.

Для виявлення трендів використано лінійну регресію методом найменших квадратів (МНК) та непараметричний тест Манна-Кендалла з корекцією на автокореляцію за методом Гамеда-Рао ($p < 0,001$) [1]. Точки зламу часових рядів верифіковано тестом Петтіта [4]. Базовим кліматичним періодом обрано стандартну норму ВМО 1961–1990 рр. Оцінку інтегрального масштабу потепління здійснено через зіставлення раннього історичного вікна (1875–1904/1915/1930 рр.) із сучасним періодом (1991–2025 рр.).

Статистичний аналіз виявив високодостовірний позитивний тренд за весь період спостережень для всіх станцій: Полтава +0,11 °С/декаду; Кропивницький +0,14 °С/декаду; Умань +0,15 °С/декаду; Дніпро +0,17 °С/декаду. Тест Петтіта зафіксував синхронний структурний злам у 1988–1990 рр. ($p < 0,01$), після якого швидкість потепління зросла у 2,5–3,5 раза – до +0,35...+0,50 °С за декаду.

Міжстанційна просторова кореляція річних аномалій у 2000–2025 рр. становить $r = 0,97$, що засвідчує регіональний характер процесу та відкидає домінування локальних спотворень (наприклад, міського острова тепла). У 2024 р. на всіх станціях зафіксовано абсолютні історичні температурні рекорди середніх річних температур: Дніпро 12,5 °С (+4,0 °С від норми), Кропивницький 12,3 °С (+4,35 °С), Умань 11,5 °С (+4,27 °С), Полтава 11,4 °С (+3,85 °С). Кроковий приріст між періодами 1991–2010 та 2011–2025 рр. склав +0,6...+0,9 °С, перевищивши будь-який історичний етап [2, 3].

Зіставлення помісячних норм раннього періоду та 1991–2025 рр. виявило виражену двоярусну сезонну асиметрію: місяці холодної половини року (листопад – квітень) теплішають у 2–3 рази швидше, ніж теплі (травень – жовтень). Абсолютними лідерами зростання є січень (+2,3...+3,3 °С) та березень (+1,4...+3,0 °С, причому у Полтаві приріст березня сягнув +3,0 °С – максимального значення у дослідженні). Натомість у липні та жовтні приріст становить лише +0,0...+1,5 °С (в Умані через висотний бар'єр та циркуляційні аномалії кінця XIX ст. липень продемонстрував 0,0 °С, а травень: −0,6 °С). Фізичним рушієм зимового максимуму виступає арктичне підсилення (Arctic amplification) та

сніго-альбедний зворотний зв’язок навесні, тоді як улітку евапотранспірація стримує чутливий тепловий потік.

Найважливішим біогеофізичним рубежем стало подолання порогу 0 °C середньою температурою березня: у Кропивницькому вона зросла з −0,1 °C до +2,6 °C (+2,7 °C); у Полтаві – з −1,0 °C до +2,0 °C (+3,0 °C); у Дніпрі зміцнилася з +0,5 °C до +2,8 °C (+2,3 °C). Весняна нульова ізотерма змістилася з кінця березня – початку квітня на середину лютого або ще раніше, що стиснуло гідрологічну весну та зрушило фенологічний старт у середньому на 14 діб.

Ландшафтно-екологічні та агрономічні наслідки:

1. Гідрологічний режим річкових басейнів: Талий стік річок Ворскла, Інгул, Інгулець та басейну Південного Бугу замість плавного весняного водопілля перетворився на ранній короткочасний імпульс (на 1–3 тижні раніше). Через дефіцит снігового акумулятора та вищі температури осені й зими (+0,6...+2,0 °C у листопаді) критично впали обсяги ґрунтового живлення, що спричинило обміління річок у літньо-осінню межень (липень–вересень).

2. Термічний режим чорноземів і баланс гумусу: Зменшення тривалості промерзання ґрунту внаслідок січневого потепління на +2,3...+3,3 °C пригнічує кріогенну агрегацію та формування вертикальної тріщинуватості орного шару. Високі температури зими й ранньої весни стимулюють експоненційне зростання мікробіологічного дихання та окиснення органічного вуглецю гумусу. Підвищення літніх температур на фоні дефіциту опадів зумовлює глибоке пересихання верхнього шару ґрунту та підвищує дефляційну небезпеку.

3. Зсув біокліматичних поясів: Сумарне зростання середньорічної температури на +0,85...+2,03 °C еквівалентне зсуву біокліматичних ізоліній на північ на 140–340 км. Спостерігається активна експансія ксерофітних степових видів у лучні та лісостепові ценози, деградація дубових дібров через посухи та звуження площі природного лісостепу.

4. Аграрний календар і ризики рослинництва: Раннє відтавання орного шару дає змогу змістити сівбу соняшнику, кукурудзи та сої на 10–14 діб раніше та використовувати високоврожайні середньопізні гібриди. Проте різко зросли критичні агрономічні ризики: дефіцит яровизації озимої пшениці внаслідок відсутності тривалого періоду температур нижче +5 °C, а також небезпека літньої пилкової стерильності пшениці під час наливу зерна при денних температурах понад +30...+35 °C.

Висновки:

Протягом 140–202 років у Центральній Україні діє віковий тренд потепління (+0,14...+0,17 °C/декаду) із різким структурним прискоренням після 1988–1990 рр. до +0,35...+0,50 °C/декаду та встановленням історичних рекордів у 2024 р.

Виявлено контрастну сезонну асиметрію: холодна пора року теплішає вдвічі-втричі швидше за літо (січень: +2,3...+3,3 °C, березень: +1,4...+3,0 °C проти липня: +0,0...+1,5 °C).

Перехід середньої температури березня вище 0 °C змістив весняний фенологічний та гідрологічний старт на 2 тижні раніше.

Зсув біокліматичних зон на північ на 140–340 км, вимивання ґрунтового вуглецю чорноземів та зниження річкової межені потребують невідкладної корекції агротехнологій: перегляду сортового складу, адаптації строків сівби, вологозберігаючого обробітку та розвитку зрошення.

Список літератури:

1. Hamed, K. H. & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 204, 182–196. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X

2. Helevera, O., Mostipan, M. & Topolnyi, S. (2023). Winter and spring long-term dynamic of air temperature in Central Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”, 59, 83–94. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-07

3. Helevera, O., Mostipan, M. & Topolnyi, S. (2024). Summer and autumn long-term dynamic of air temperature in Central Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”, 61, 144–155. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-12

4. Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society C, 28(2), 126–135. https://doi.org/10.2307/2346729

НИКОНЮК Є.С., ОДНОРІГ З.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ДЕРЖАВНИЙ КОНТРОЛЬ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ, ЗВІТНОСТІ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

National University "Lviv Polytechnics"
79013, S. Bandery Str., 12, Lviv Ukraine: yelyzaveta.nykoniuk.meoek.2025@lpnu.ua

Abstract: Implementation of the monitoring, reporting and verification system for greenhouse gas emissions in Ukraine requires effective state control over compliance with established requirements. Particular importance is given to the activities of the State Environmental Inspectorate, which carries out state supervision and control over operators within its powers. The role of the State Environmental Inspectorate in ensuring the reliability of greenhouse gas emissions data and compliance with environmental legislation is highlighted.

Зменшення антропогенних викидів парникових газів вимагає надання достовірної інформації про їхні фактичні обсяги та застосування ефективних механізмів державного контролю. В Україні така інформаційна база формується через систему моніторингу, звітності та верифікації парникових газів (МЗВ). Її функціонування тісно пов'язане з розвитком кліматичної політики та гармонізацією національного законодавства з європейським.

Державний контроль за дотриманням операторами встановлених вимог виконує Державна екологічна інспекція України разом з її регіональними підрозділами. Кожний оператор визначає установку за категоріями А, Б, або С за середнім річним обсягом діоксиду вуглецю, (окрім CO2, утвореного із біомаси. Встановлені такі методики підрахунку парникових газів із множинних організованих та неорганізованих джерел: стандартна та методика балансу мас – базуються на розрахунку. Для інших випадків рекомендується застосовувати або методику на основі неперервних вимірювань, або альтернативну методику, що базуються на вимірюваних значеннях параметрах концентрації ПГ та об'ємної витрати газового потоку. Тут матеріальний потік класифікують за значним, незначним або мінімальним рівнем точності. Підбір методик оператором ґрунтується на аналізі ризиків утворення прогалин або помилок в обрахунку. Щорічний план моніторингу завжди мусить враховувати зміни, що відбулися у технологічних процесах, заміні виду палива чи сировини, організаційних структурах. Оператори займаються моніторингом і складанням звітів про викиди, тоді як незалежні верифікатори оцінюють достовірність цих звітів.

Держекоінспекція здійснює нагляд над дотриманням законодавства в сфері МЗВ і перевіряє точність даних, наданих операторами, у визначених законом випадками. Розподіл цих функцій забезпечує чітке відмежування державного контролю від моніторингу та незалежної верифікації.

Державний контроль охоплює як документальний, так і фактичний аспект діяльності установки. Під час перевірок оцінюється відповідність фактичної діяльності переліку, що підлягає МЗВ, державна реєстрація установки, затверджений план моніторингу та своєчасність його коригування. Особлива увага приділяється дотриманню плану моніторингу, правильності визначення меж і повноті врахування викидів.

Особливість державного контролю полягає в можливості перевірки не тільки документів, але й реальних процесів формування звітів. Під час контрольних заходів здійснюється огляд установки, перевірка вимірювальної техніки та контрольних пристроїв, аналіз шляху формування даних від первинної інформації до підсумкових показників, а також перевірка процедур забезпечення якості. Це допомагає оцінити відповідність наведених оператором даних реальній організації моніторингу на установці.

Держекоінспекція виступає окремою ланкою системи МЗВ, доповнюючи моніторинг операторів та незалежну верифікацію звітності. Ефективність цього контролю залежить від чітко визначених повноважень учасників МЗВ, ретельного документування первинних даних, високої кваліфікації інспекторів, та можливості простежити формування звітного показника від початкових даних до кінцевого результату.

Список літератури:

1. Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 12.12.2019 № 377-IX.

БУДНІК С.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ВОДНА КРИЗА, ВИМОГИ ЄС ТА ВІДНОВЛЕННЯ СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського,
проспект Науки, б.39, корп.2, Київ, Україна, svetlana_budnik@ukr.net

Abstract. The objectives and recommendations regarding the restoration of water bodies are examined. Attention is drawn to river basins, which serve as the source of water and the origin of most water pollutants.

Водна криза у сучасному світі розвивається поступово й охоплює все більше територій та цілих країн як у Європі так й на інших континентах [2 та інш.]. Ріст температури повітря випереджує зростання кількості опадів, а подекуди річна кількість опадів зменшується. Водність багатьох водних об'єктів зменшується, що викликає занепокоєння громадськості. У Європі теж є складнощі з водними ресурсами, не дивлячись на те що Європа переживає періодично ряд сильних повеней (2002, 2013 й інш.), останніми роками відмічено значне зниження рівня води у багатьох річках й навіть вихід з води «голодних каменів», що попереджають про настання сильного маловоддя й посух [2 та інш.]. Є різні директиви або керівництва ЄС щодо поводження з водними об'єктами. Водна рамкова директива ЄС [5] спрямована на досягнення доброго стану річок, а новий закон ЄС о відновленні природи [4] спрямовано на відновлення природної прокольної й поперечної єдності річок. Вимоги ЄС, як правило, є чи повинні бути рекомендаційними, кожна країна повинна відстоювати власні інтереси виходячи з сучасних реалій конкретної країни. У своїх директивах та регламентах щодо водних об'єктів ЄС керується необхідністю захистити вразливі території від повенів, забезпечити добрий екологічний стан вод та біорізноманіття. Але такі рекомендації, нажаль, не враховують всього різноманіття випадків щодо водних об'єктів й не забезпечують досягнення необхідної мети.

Для збереження та відновлення водних ресурсів в країні треба вирішити основне питання: що саме ми бажаємо отримати: воду на задоволення потреб суспільства й забезпечення якісного існування людини чи збереження річок як елементу ландшафту зі здатністю до самоочищення та збереження біорізноманіття й т.ін. У цих двох питаннях можливий компроміс при комплексному підході до вирішення проблеми. Посуха, виснаження грунтових джерел живлення призводять до скорочення води у руслах річок, при знятті перешкод на річках, вода з русел збігає бистріше й рівень води зменшується швидше, це поглиблює висушування прилеглих територій, зниження рівнів грунтових вод, бо підпір у руслах, що забезпечувався перешкодами знятий й берегове регулювання діє на віддачу води у порожні русла. Тут треба усвідомити на досягнення якого ефекту спрямована конкретна рекомендація. Наприклад, вимога знести греблі й надати річкам вільний простір для течії спрямовано на намагання створити умови для запобігання повеням та збереження біорізноманіття. Раптові повені проносяться руслом річки й руйнують все що потрапило у заплавну зону й водоохоронні території, особливо якщо вони не облаштовані лісовими насадженнями. Не всі водні організми пристосовані тривалий час жити у обмілілих водних екосистемах та ще при наростаючому прогріві води у них. У річок є природна здатність до самоочищення, але ця здатність забезпечується необхідним об'ємом види у річці, що здатен розчинити й перенести забруднювачі нижче за течією, а що буде якщо цього об'єму не вистачає – грунтові горизонти виснажені й не надають необхідного ефекту до очищення й розбавлення та перенесення забруднювачів?

Для досягнення поставлених вимог необхідно працювати не стільки з руслами річок, скільки з річковими басейнами. А саме, створити умови для затримання води на водозборах шляхом створення протиерозійних комплексів, що переводять воду з поверхневої первинної гідрографічної мережі до грунтових горизонтів, насичуючи водою коренемісткий шар грунту й забезпечуючи сільськогосподарські культури й природні рослинні угруповання необхідною їм водою. Також це забезпечує фільтрацію води через грунтові шари перед її потрапляння до водних об'єктів. Досягаються все три вимоги: добрий стан води, біорізноманіття й гальмування повеней.

Список літератури:

1. Буднік С.В. Оптимізація водного режиму території задля забезпечення водою населення, збереження грунтів та біорізноманіття. // Збірка матеріалів Міжнародного екологічного форуму «Довкілля для України». 2026. 206-209 с.
2. Северин Трач У річках Європи з-за аномальної посухи зіткнулися з «голодними каменями», що про них відомо NU.nl. 2022 https://24tv.ua/ru/golodnye-kamni-rekah-evropy-chto-jeto-takoe-oni-pojavilis_n2129851 (російською)
3. Darre M.E., Constantinides P., Domisch S. et. al. Evaluating the readiness for river barrier removal: A scoping review under the EU nature restoration law. Science of the Total Environment. 2025. V. 959. 178180. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178180
4. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities L 327. Volume 43. 2 December 2000. P.1-73.
5. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. 2024. 93 p.

СОРОКІНА К.Б. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ФАКТОРИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ВОЄННО-ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
61002, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна; kbsorokina@ukr.net

Abstract. Traditional approaches to water quality monitoring, based on periodic sampling and a limited set of physicochemical parameters, have proven to be ineffective in the context of active armed conflict. The dynamic nature of threats, combined with restricted physical access to water bodies in combat zones and border areas, necessitates the implementation of a comprehensive risk assessment methodology. Such a methodology should account for the combined effects of armed conflict, climate change and anthropogenic pressures, the dynamics of changes in water quality, the vulnerability of water bodies, the cumulative nature of risks and the potential for adaptation of water monitoring and management systems.

Оцінка якості водних ресурсів України протягом періоду 2020-2026 рр. демонструє зміни водно-екологічного стану від традиційного техногенного впливу до системної катастрофи. Гідрографічна мережа України, що налічує понад 63 000 річок та 1 137 водосховищ, є базою для забезпечення питних і господарських потреб населення. Близько 75 % централізованого водопостачання країни здійснюється з поверхневих водних джерел, що робить національну систему водокористування критично залежною від стану поверхневого стоку [1].

До лютого 2022 року ключовими чинниками погіршення якості води були кліматичні зміни та антропогенна діяльність. Кліматичні зміни характеризувалися зростанням середньорічних температур, зміною температурного режиму водотоків та вираженою перебудовою внутрішньорічного розподілу стоку. Потепління супроводжувалося тривалими маловодними періодами у літньо-осінній час та зменшенням кількості снігу взимку. Це суттєво знижувало самоочищувальну здатність водойм від промислових і сільськогосподарських стоків.

З початком повномасштабного воєнного вторгнення класична динаміка фонового забруднення була змінена. Бойові дії значно збільшують ризики, посилюючи існуючі кліматичні та антропогенні впливи. Працівниками Державної екологічної інспекції вже задокументовано понад 11 890 фактів завдання шкоди навколишньому середовищу України, а орієнтовні розрахунки збитків, нараховані Державною екологічною інспекцією відповідно до затверджених методик, перевищують 7,32 трлн грн [2]. Воєнні дії спричинили пряме хімічне та фізичне забруднення водних об’єктів, руйнування гідротехнічних споруд, порушення функціонування очисних споруд та дестабілізацію водозбірних басейнів через масові міграційні процеси.

Цілеспрямовані та побічні удари по водогосподарській інфраструктурі сформували нове явище в міжнародному екологічному праві та гідроекології – «аквацид», що визначається як навмисне або опосередковане знищення та забруднення водних інфраструктур і ресурсів у ході збройного конфлікту [1].

Руйнування гідроспоруд викликає гідродинамічну хвилю затоплення, яка механічно вимиває накопичені токсиканти із затоплених промислових та комунальних зон. Далі ці речовини інфільтруються у водоносні горизонти або транспортуються вниз за течією, викликаючи вторинне хімічне та мікробіологічне забруднення джерел питного водопостачання.

Внаслідок бойових дій у водних джерелах з’являються нетрадиційні хімічні речовини, які раніше не фіксувалися програмами державного моніторингу. Детонація вибухових речовин (тротил, гексоген, тетрил) супроводжується виділенням азотовмісних сполук (нітратів, нітритів, амонію), які потрапляють у поверхневі водотоки та інфільтруються у водоносні горизонти.

Окрему загрозу становить інтенсифікація використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Збиття та падіння БПЛА супроводжуються потраплянням у воду елементів живлення (літієві, нікель-кадмієві акумулятори), бортових електронних систем та мікросхем, які вилуговуються з утворенням високих концентрацій важких металів (кадмій, свинець, мідь, нікель, хром) та токсичних органічних сполук.

Затоплення вугільних шахт у Донецькому та Луганському басейнах призводить до підйому високомінералізованих шахтних вод, насичених сульфатами, залізом, марганцем та важкими металами. Потрапляння цих вод у підземні горизонти створює довгостроковий ризик незворотного забруднення джерел питного водопостачання регіону.

У басейні Сіверського Дінця в районі водозаборів зафіксовано появу слідів нафтопродуктів та фенолів у концентраціях, що перевищують гранично допустимі норми, що є наслідком систематичних обстрілів об'єктів критичної інфраструктури та нафтобаз.

Масова внутрішня міграція населення з південних та східних регіонів України до центральних і західних областей сформувала нерівномірний просторовий розподіл комунального навантаження на водні джерела. Приймаючі громади зіштовхнулися зі зростанням обсягів господарсько-побутових стічних вод на 30-70 %. Більшість комунальних очисних споруд у малих та середніх містах західного регіону побудовані в другій половині XX століття та розраховані на суттєво менші обсяги стоку.

Системні перебої з електропостачанням внаслідок ракетно-дронових ударів по енергетичній інфраструктурі призводять до вимушеної зупинки аераційних систем на очисних спорудах. Це спричиняє порушення процесів біологічного очищення та аварійне скидання недоочищених стічних вод із підвищеним вмістом фосфатів, синтетичних поверхнево-активних речовин, амонійного азоту й органічних сполук, викликаючи прискорену евтрофікацію малих і середніх річок.

Традиційні підходи до моніторингу якості води, що базуються на періодичному відборі проб із вузьким переліком фізико-хімічних параметрів, виявилися неефективними в умовах активного збройного конфлікту. Динамічність загроз, обмеження фізичного доступу до водних об'єктів у зоні бойових дій та на прикордонних територіях вимагають впровадження комплексної методології оцінки ризиків.

Адаптований інтегрований методологічний підхід поєднує принципи Планів безпеки води (Water Safety Plans – WSP) Всесвітньої організації охорони здоров'я та Європейської директиви про питну воду EU 2020/2184 з концептуальною моделлю DPSIR (Drivers – Pressures – State – Impact –Response) [3].

Модель DPSIR розкладає водно-екологічну кризу на п'ять взаємопов'язаних ланок:

- перша ланка відповідає за Драйвери (Drivers), якими виступають збройна агресія, кліматичні зміни та масова демографічна дестабілізація;
- друга ланка описує Тиски (Pressures), що виражаються у прямому руйнуванні водогосподарської інфраструктури, аварійних скидах шахтних і недоочищених комунальних вод та детонації боєприпасів;
- третя ланка фіксує Стан (State), що характеризується деградацією фізико-хімічних, гідробіологічних та радіологічних показників поверхневих і підземних водних джерел;
- четверта ланка відображає Вплив (Impact), який проявляється у зростанні ризиків спалахів водно-зумовлених інфекцій, хронічних токсичних інтоксикаціях населення, втраті біорізноманіття та руйнуванні екосистемних послуг;
- п'ята ланка визначає Реакцію (Response), що передбачає впровадження оперативного моніторингу, реструктуризацію водозаборів, застосування адаптивних методів водопідготовки та підвищення цивільного захисту водогосподарських систем.

Методика оцінювання ризиків має передбачати послідовне виконання семи взаємопов'язаних етапів, які включають збір та аналіз даних про стан водних ресурсів, визначення основних кліматичних, антропогенних та воєнних факторів впливу, оцінювання їхнього впливу на водні об'єкти, аналіз фактичних змін показників якості води, розрахунок загального рівня ризику з врахуванням сумісної дії чинників, прогнозування його подальшої динаміки, обґрунтування та розроблення відповідних заходів для зменшення ризиків і коригування системи моніторингу і управління водними ресурсами.

Війна в Україні спричинила перехід від погіршення якості води до масштабної водно-екологічної кризи, наслідки якої виходять далеко за межі національних кордонів і створюють загрози для екологічної безпеки Європейського регіону. Адаптивна методологія оцінки ризиків, що базується на синтезі моделей WSP та DPSIR, застосуванні математичного розрахунку мультиризику, може сприяти прийняттю управлінських рішень в умовах високого ступеня невизначеності та обмеженого фізичного доступу до об'єктів.

Список літератури:

1. Manoiu, V.-M., Costache, M.-S., & Nica, M.-A. (2026). The Impact of the Russia-Ukraine War on Water Resources and Infrastructure of Ukraine – A Comprehensive Review. World, 7(1), 3. https://doi.org/10.3390/world7010003.
2. ЕкоЗагроза (2026). Режим доступу: https://ecozagroza.gov.ua/.
3. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A. et al. (2023) Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. Nat Sustain 6, 578–586. https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x.

ЛЯШОВСЬКИЙ А.І., ПЕТРУШКА І.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВІД ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ: АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ

Національний університет «Львівська політехніка»,
Львів, вул. С.Бандери, 12, bpd.dept@lpnu.ua

Abstract. The paper reviews international experience in GIS-based assessment of environmental risk from thermal power plants. Three groups of approaches are compared: coupling of atmospheric dispersion models (CALPUFF, WRF) with GIS exposure mapping; spatial mapping of soil and health risk indices (Igeo, PLI, Hakanson RI, HQ/HI, ILCR, fuzzy risk index); and satellite estimation of NOx and SO2 emissions from Sentinel-5P TROPOMI and OMI. The main gaps for Ukrainian cities are identified: absence of open stack-level emission data, a reduced monitoring network, MAC-oriented rather than risk-oriented standards, and no urban GIS platforms that account for wartime changes in plant operation.

Теплові електростанції та ТЕЦ є найбільшими точковими джерелами SO2, NOx, пилу та важких металів в українських містах, а їхній вплив на довкілля та здоров’я людей залежить від просторового розташування джерела відносно житлової забудови, рельєфу та вітрового режиму. Тому сучасна оцінка екологічного ризику від теплоенергетики неможлива без геоінформаційних систем (ГІС), і мета цієї роботи – узагальнити закордонний досвід такої оцінки та виявити, чого бракує для його застосування в Україні.

Аналіз закордонних публікацій останніх років дозволяє виділити три групи підходів. Перша – поєднання дисперсійних моделей атмосферного переносу з ГІС. Дослідження в Туреччині показало, що модель CALPUFF на сітці 1 км виявляє кумулятивне перевищення нормативів SO2 від групи вугільних ТЕС, які не фіксують оцінки впливу окремих станцій, а супутникові дані OMI відтворюють шлейфи краще за наземні пости. У Китаї дані безперервного моніторингу викидів на димових трубах у поєднанні з WRF-CALPUFF дали змогу розділити внесок первинних і вторинних частинок PM2.5 та оцінити регіональне перенесення між містами. Ключова умова точності таких моделей – деталізовані емісійні та метеорологічні дані.

Друга група це індекси ризику, які обчислюють за даними відбору проб і картують у ГІС. Для ґрунтів навколо вугільних ТЕС в Індії та Китаї застосовано індекс геоакумуляції Igeo, індекс навантаження забрудненням PLI та індекс потенційного екологічного ризику Хакансона, а для населення – коефіцієнт небезпеки HQ, індекс небезпеки HI та канцерогенний ризик ILCR за методологією US EPA. Інтегральний нечітко-логічний індекс, розроблений для турецьких ТЕС, додатково враховує тепловий вплив на водойми та золошлакові відходи. Спільна риса цих робіт – перехід від порівняння з нормативами до оцінки ймовірності шкоди, яку можна відобразити на карті міста.

Третя група - дистанційне зондування Землі. Дані Sentinel-5P TROPOMI дозволяють оцінювати викиди NOx окремих ТЕС із похибкою близько 10 % відносно звітних значень, а глобальні супутникові каталоги джерел SO2 охоплюють сотні електростанцій світу без наземних вимірювань. Для України ці методи вже показали зниження NO2 над містами і ТЕС у 2022 р. та скорочення викидів NOx у 2022–2023 рр. внаслідок війни.

Порівняння з українською практикою виявляє такі прогалини: 1) відсутність відкритих поджерельних даних про викиди (параметри труб, погодинні обсяги), без яких дисперсійне моделювання лишається наближеним; 2) скорочення державної мережі моніторингу, що унеможливлює валідацію моделей у більшості міст; 3) орієнтація нормування на ГДК замість картування HQ/HI/ILCR; 4) невикористання даних TROPOMI для незалежної верифікації викидів ТЕС і ТЕЦ; 5) відсутність міських ГІС-платформ, які враховували б кумулятивний вплив ТЕЦ, котелень і золовідвалів та зміну режимів роботи об’єктів через воєнні пошкодження.

Висновок. Закордонний досвід демонструє, що дисперсійне моделювання, індекси ризику та супутникова верифікація мають працювати в єдиному ГІС-середовищі. Для українських міст першочерговими кроками є відкриття деталізованих за джерелами викидів даних, запровадження ризик-орієнтованих показників та регулярна перевірка викидів теплоенергетики за даними Sentinel-5P.

БУТЕНКО Е.О. (УКРАЇНА, МАРІУПОЛЬ-ДНІПРО)

ЗАХИСТ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЗА ДОПОМОГОЮ СИНТЕТИЧНИХ АНІОННИХ ГЛИН РІЗНОГО СКЛАДУ

ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет"
49044, вул. Гоголя, 29, Дніпро, Україна, butenko_e_o@pstu.edu

Abstract. The contamination of water resources by organic compounds - dyes, pesticides, and pharmaceutical residues - is a critical environmental issue. Synthetic anionic clays (layered double hydroxides, LDH) are considered promising sorptive materials due to their high specific surface area, anion exchange capacity, and "memory effect".

This paper presents experimental data on the synthesis and application of LDH of various compositions for the removal of organic pollutants from aqueous environments. The kinetics of sorption, pH effects, adsorption capacity, and the regenerability of the materials were investigated.

The modification of LDH with organic anions to expand their activity toward non-ionic and hydrophobic compounds is also discussed.

Стрімкий розвиток промисловості, сільського господарства та фармацевтики супроводжується надходженням у водні екосистеми значної кількості органічних забруднювачів. Синтетичні барвники, пестициди, антибіотики та інші стійкі органічні сполуки створюють серйозні ризики для здоров'я людини та біорізноманіття.

Традиційні методи очищення води — коагуляція, біодеградація, мембранна фільтрація — часто є дорогими, енергоємними або недостатньо ефективними для повного видалення мікроконцентрацій органічних токсикантів, а також утворюють великі обсяги вторинних відходів.

Адсорбція на твердих сорбентах залишається одним із найбільш економічно доцільних та технологічно простих методів очищення води. Серед перспективних матеріалів особливу увагу привертають шаруваті подвійні гідроксиди (LDH) — синтетичні аніонні глини загальної формули $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_{x}(OH)_2][A^{n-}]_{x/n}\cdot zH_2O$.

Позитивно заряджені гідроксидні шари та здатність до обміну міжшарових аніонів забезпечують ефективне захоплення аніонних органічних сполук . Важливою перевагою LDH є "ефект пам'яті" — здатність прожарених оксидів відновлювати шарувату структуру при контакті з водним розчином, що дозволяє використовувати їх як регенеровані сорбенти.

Позитивно заряджені гідроксидні шари забезпечують ефективне захоплення аніонних органічних сполук, тоді як модифікація міжшарового простору органічними аніонами відкриває шлях до видалення гідрофобних неіонних забруднювачів.

Мета цієї роботи — експериментальне дослідження синтезу, характеризації та сорбційних властивостей LDH різного складу (Mg-Al, Zn-Al, Cu-Zn-Al, Zn-Cd-Al) щодо модельних органічних забруднень, а також аналіз впливу модифікації міжшарового простору на ефективність очищення води та можливість регенерації матеріалів

Для синтезу LDH використовували нітрати металів відповідної чистоти (Sigma-Aldrich, Showa): $Mg(NO_3)_2\cdot6H_2O$, $Al(NO_3)_3\cdot9H_2O$, $Zn(NO_3)_2\cdot6H_2O$, $Cu(NO_3)_2\cdot3H_2O$, $Cd(NO_3)_2\cdot4H_2O$, $Ni(NO_3)_2\cdot6H_2O$.

Як реагенти для осадження застосовували NaOH та Na_2CO_3. Модельні органічні забруднювачі: метиловий оранжевий (MO, $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$), індигокармін (IC, $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$), аніліновий синій, а також неіонні гербіциди алахлор та метолахлор .

Усі зразки синтезовано методом співосадження при постійному pH. Загальна процедура: розчин А (солі металів у дистильованій воді, мольне співвідношення M^{2+}/M^{3+} = 2:1 або 3:1) та розчин Б (NaOH + Na_2CO_3) одночасно додавали крапельно за інтенсивного перемішування з підтриманням pH = 10–11. Осад витримували при 65–70 °C протягом 18–24 годин, фільтрували, промивали та сушили при 65 °C. Частину зразків прожарювали при 450–500 °C для отримання змішаних оксидів.

Органічні LDH отримували методом іонного обміну з використанням додецилсульфату натрію та себацинату натрію як інтеркальованих аніонів. Вибраний органічний аніон (у 2-3-кратному надлишку відносно обмінної ємності) додавали до суспензії LDH у декарбонізованій воді, перемішували 24 год при 60 °C, фільтрували, промивали та висушували .

Структуру та фазовий склад підтверджено методом порошкової рентгенівської дифрактометрії (XRD). Ідентифіковано характерні рефлекси для LDH ($2\theta \approx 11°, 23°, 35°, 60–62°$), що відповідають стандартним карткам JCPDS.

Функціональні групи досліджено методом ІЧ-спектроскопії з Фур'є-перетворенням (FTIR).

Морфологію поверхні визначено методом скануючої електронної мікроскопії (SEM). Питому поверхню визначено за методом Брунауера-Еммета-Теллера .

Адсорбцію досліджували за різних умов: pH (3–11), температура (25–60 °C), початкова концентрація забруднювача (10–200 мг/л), час контакту (0–360 хв), доза сорбенту (0,5–5 г/л).

Концентрацію забруднювачів у розчині визначали спектрофотометричним методом за довжин хвиль максимумів поглинання. Кінетичні дані апроксимували моделями псевдопершого та псевдодругого порядків; ізотерми — моделями Ленгмюра та Фрейндліха.

Сорбція відповідає кінетиці псевдодругого порядку (що вказує на хемосорбцію та іонний обмін) і найкраще описується ізотермою Ленгмюра.

Для дослідження "ефекту пам'яті" прожарені зразки витримували на повітрі протягом різного часу (1–14 діб) для регідратації, після чого проводили сорбційні тести.

Регенерацію виконано термічною обробкою (450 °C) або промиванням органічним розчинником (етанол).

Дослідження «ефекту пам'яті» показало, що прожарені зразки (змішані оксиди) здатні відновлювати шарувату структуру при контакті з водою, «захоплюючи» забруднювачі у міжшаровий простір.

Методами XRD та FTIR підтверджено успішний синтез висококристалічних LDH. Для органомодифікованих зразків (з інтеркальованими SDS та себацинатом) зафіксовано зсув характерного рефлексу (003) в бік менших кутів (з ~11° до 4–5°), що свідчить про значне розширення міжшарового простору завдяки вбудуванню громіздких органічних аніонів. Дані SEM показали, що матеріали мають вигляд гексагональних пластинчастих частинок з розвиненою поверхнею.

1. Синтезовано ряд шаруватих подвійних гідроксидів (Mg-Al, Zn-Al, Cu-Zn-Al, Zn-Cd-Al, Ni-Al) методом співосадження, підтверджено їхню кристалічну структуру та високу питому поверхню.
2. Експериментально встановлено високу ефективність шаруватих подвійних гідроксидів для видалення аніонних барвників: максимальна адсорбційна ємність CuZnAl-LDH щодо метилового оранжевого досягає 454 мг/г, MgAl-O — 476 мг/г.
3. Сорбція відповідає кінетиці псевдодругого порядку та ізотермі Ленгмюра.
4. Введення Cu^{2+} до складу ZnAl-LDH підвищує сорбційну здатність завдяки синергетичному ефекту редокс-активних центрів та структурній стабільності.
5. Модифікація міжшарового простору органічними аніонами (додецилсульфат, себацинат) забезпечує ефективну адсорбцію неіонних гідрофобних сполук (алахлор, метолахлор) та створює системи з уповільненим вивільненням.
6. "Ефект пам'яті" прожарених шаруватих подвійних гідроксидів різного складу дозволяє регенерувати сорбенти термічною обробкою з відновленням адсорбційної здатності на 80–90%, що робить їх економічно доцільними для багаторазового використання.
7. Композити шаруватих подвійних гідроксидів з біовугіллям перспективні для створення стабільних сорбційних систем із покращеними механічними властивостями та збереженням структури після регенерації.

ІЛЛЯШ О.Е. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА), ФРОЛОВ В.Ф. (УКРАЇНА, КИЇВ)

РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ ПОКАЗНИКІВ ТА УМОВ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ПІСЛЯПРОЕКТНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м.Полтава, просп. Віталія Грицаєнка, 24, e-mail: kanc@nupp.edu.ua
Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського,35, корп.2 e-mail: dnu_iev@ukr.net

Abstract. This paper analyzes the procedure for environmental monitoring during the post-project phase. Based on this analysis, a set of environmental status indicators has been developed—comprising assessment metrics and recommended baseline conditions for monitoring—which will help improve the procedures for post-project monitoring and the environmental screening of territories.

Метою післяпроектного моніторингу (далі - ППМ) є: «виявлення будь-яких розбіжностей і відхилень у прогнозованих рівнях впливу та ефективності заходів із запобігання забрудненню довкілля та його зменшення, що визначаються на етапі оцінки впливу на довкілля проєктованої діяльності» [1].

Вимоги законодавства [2] щодо проведення спостережень за станом довкілля під час здійснення ППМ передбачають: оцінювання фактичного впливу на певні фактори довкілля, такі, як якість повітря та зміну клімату, стан підземних й поверхневих вод, якість ґрунтів, стан біорізноманіття та природоохоронних територій, у тому числі територій та об'єктів природно-заповідного фонду, ландшафтні умови.

Однак об'єктивність процедури ППМ безпосередньо залежить від двох складових: застосованих оціночних показників (кількісні критерії) та умов, при яких проводилися спостереження стану довкілля (якісні критерії). А це значить, що ППМ як процедура кількісно-якісного оцінювання стану й динаміки змін, що відбуваються в довкіллі під впливом різних видів антропогенної діяльності, потребує розроблення відповідного комплексу показників. До таких показників необхідно віднести [3]:

- *індикатори* якості та стану компонентів довкілля, зокрема, вміст певних речовин, що потрапляють у довкілля в результаті діяльності виробничих об'єктів, а їх перелік повинен відображати технологічну специфіку діяльності цих об'єктів, а також додаткові індикатори, наприклад, шумове та вібраційне навантаження, які здатні суттєво погіршувати умови життєдіяльності людей на прилеглих до виробничих об'єктів територіях;
- *умови,* які враховуються і при яких здійснюються спостереження й процедура вимірів стану (якості або рівня забруднення) компонентів довкілля.

Дана робота ґрунтується на багаторічному практичному досвіді Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» щодо проведення післяпроєктного екологічного моніторингу у районах розташування об'єктів нафтогазової галузі та оцінки екологічного стану територій в місцях розташування звалищ побутових відходів. Набутий досвід дозволив розробити рекомендації щодо комплексу показників стану довкілля.

До комплексу показників якості та стану повітря відносяться:

−індикатори якості атмосферного повітря - фактичні концентрації речовин та порівняльні характеристики їх величин з ГДК, фоновими й прогнозними концентраціями;

−індикатори фізичних факторів стану атмосферного повітря - еквівалентний та максимальний рівень звукового тиску, віброшвидкість/віброприскорення, що вимірюються в повітряному середовищі;

−початкові умови, при яких повинні здійснюватися спостереження якості повітря: визначати характерні для даної місцевості й певного сезону кліматичні умови, при яких повинні проводитися виміри; враховувати напрям та швидкість вітру в момент проведення вимірів; виключати здійснення вимірів при небезпечних метеорологічних умовах; при виборі місця замірів необхідно враховувати фактор складності рельєфу; мінімізувати (при можливості) при здійсненні замірів впливовість сторонніх видів робіт, що призводять до забруднення повітря в даній місцевості;

−початкові умови, при яких повинні здійснюватися заміри шуму і вібрації: місця для замірів повинні обиратися на межі найближчої житлової забудови та/або на спеціально облаштованих під'їзних дорогах до виробничих об'єктів, що проходять крізь або близько до житлової забудови; виключати «бар'єри» між житловою забудовою й виробничими об'єктами (лісопосадки, споруди,

покрив з густою трав'яною чи чагарниковою рослинністю, природні височини або штучні насипи тощо).

До комплексу показників стану підземних вод відносяться:

−індикатори якості підземних вод: фактичні концентрації речовин, які є характерними для специфіки виробничої діяльності об'єкту моніторингу (наприклад, нафтопродукти для об'єктів нафтогазової галузі) та показники їх перевищення/неперевищення ГДК й порівняльні показники з фоновими рівнями та/або даними екологічного скринінгу;

−початкові умови, при яких повинні здійснюватися спостереження: визначати місце відбору проби води необхідно з урахуванням гідрогеологічної специфіки даної місцевості й місця взаєморозташування виробничого об'єкту та джерела децентралізованого водопостачання (колодязя або свердловини); виключати при відборі проб місця розташування джерел підземних вод у безпосередній близькості до сільськогосподарських угідь.

До комплексу показників стану підземних вод відносяться:

−індикатори якості поверхневих вод: фактичні концентрації речовин у воді водойм та показники їх перевищення/неперевищення ГДК;

−початкові умови, при яких повинні здійснюватися спостереження: визначати місце відбору проби води необхідно з урахуванням ухилу рельєфу місцевості від виробничого об'єкту до водойми; надавати перевагу для спостережень малим водоймам (ставкам, струмкам, притокам річок) як найбільш уразливим водним об'єктам від впливу господарської діяльності; визначати ступінь потенційного впливу виробничого об'єкту на поверхневу водойму, враховуючи відстань між ними, а також наявність між ними сільськогосподарських угідь, територій із складним рельєфом, лісових масивів, житлових та урбанізованих територій.

До комплексу показників стану ґрунтів й земель відносяться:

−індикатори якості ґрунтів: фактичні концентрації речовин та показники їх перевищення/ неперевищення ГДК, фізико-хімічні та фізичні показники стану ґрунтів (їх перелік повинен відображати технологічну специфіку конкретного виробничого об'єкту);

−початкові умови, при яких повинні здійснюватися спостереження визначати місця відбору проб ґрунту: безпосередньо біля майданчика виробничих об'єктів, але з урахуванням ухилу рельєфу місцевості, зокрема в місцях зниження рельєфу; безпосередньо біля місць зберігання чи захоронення відходів; однак проби ґрунту не повинні обиратися безпосередньо на сільськогосподарських угіддях чи біля транспортних магістралей.

Отже, дієвість системи моніторингу за станом компонентів довкілля, що знаходяться під впливом діючих виробничих об'єктів, значно залежить від: 1) повноти та об'єктивності вибору індикаторів стану довкілля; 2) початкових умов, при яких проводилися спостереження, зокрема відбір проб повітря, води, ґрунту; 3) фаховості обраної методології та етапу планування спостережень в рамках екологічного моніторингу.

Використання у науково-практичній діяльності наведених в даній роботі рекомендацій щодо комплексу показників стану довкілля, на нашу думку, дозволить удосконалити як процедуру проведення післяпроєктного моніторингу, так й отримувати більш об'єктивні результати екологічного скринінгу територій на місцевому рівні на стадії планування програмних й проектних рішень.

Список літератури:

1. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text

2. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 15.03.2024 № 291 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо здійснення післяпроектного моніторингу». Режим доступу: https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-291-vid-15-03-2024/

3. Ілляш О.Е., Андренко А.О. Визначення комплексу маркерів для здійснення післяпроєктного моніторингу стану довкілля в районах видобування нафти і газу / «Екологія. Довкілля. Енергозбереження - **2025»**: Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження». Полтава : НУПП, 2026. - С. 19-22.

МЕЛЬНИЧЕНКО Г.М., СЕМАК У.Й., ГРИНИШАК В.В. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ПИЛЕННЯ ТОПОЛІ (*POPULUS* SPP.) ЯК ЧИННИК АЛЕРГЕННОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІСЬКОЇ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: МІЖРІЧНА МІНЛИВІСТЬ І МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, кафедра біології та екології, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018; e-mail: halyna.melnychenko@cnu.edu.ua

Abstract. Urban green infrastructure is a key nature-based solution, yet allergenic tree pollen can reduce its health benefits. Airborne poplar (*Populus* spp.) pollen was studied in 2013–2015 and 2026 to assess interannual variability and associations with meteorological factors. The seasons differed markedly in intensity (estimated SPIn 387–1010 pollen·day/m³), duration (12–32 days) and peak timing; daily concentrations were strongly right-skewed. Correlations with temperature and humidity were unstable between years. In 2026, the strongest association was observed with wind speed (Spearman's ρ = 0.78), possibly partly reflecting wind-dependent gravimetric sampling efficiency. The results inform pollen forecasting and urban planting design.

Міська зелена інфраструктура розглядається як одне з ключових природоорієнтованих рішень (Nature-based Solutions) для адаптації міст до змін клімату. Водночас алергенний пилок деревних рослин здатен частково нівелювати її оздоровчий ефект, тому сучасна аеробіологія дедалі більше зосереджується на оцінюванні алергенного потенціалу міських насаджень [1], розвитку мереж моніторингу та прогнозування пилкового навантаження [2], а також на впливі змін клімату на терміни й інтенсивність пилкових сезонів [3]. Тополя (*Populus* spp.) – одна з найпоширеніших порід у зеленому господарстві міст України; хоча алергенність її пилку оцінюється як помірна [4], високі концентрації в повітрі формують помітну частку ранньовесняного пилкового навантаження (його не слід плутати з тополиним пухом, що з'являється значно пізніше). Тому багаторічний моніторинг динаміки пилку тополі є важливим для встановлення міжрічних відмінностей у термінах початку, тривалості та інтенсивності пилкового сезону, а також оцінювання зв'язку концентрації пилку з погодними чинниками.

Мета роботи – оцінити міжрічну мінливість пилкових сезонів тополі та встановити зв'язки між пилковим навантаженням і основними метеорологічними чинниками.

Дослідження проводили в м. Івано-Франківську (48°55′ пн. ш., 24°42′ сх. д., 260 м н. р. м.), розташованому на Покутській рівнині в зоні помірно-континентального клімату, у сезони 2013–2015 та 2026 рр. Пилок відбирали гравіметричним методом за допомогою пилковловлювача Дюрама [5], встановленого на даху факультету природничих наук Карпатського національного університету імені Василя Стефаника на висоті 24 м з урахуванням рекомендацій IAA та EAS щодо розміщення пасток [6]. Змащені гліцерином предметні скельця замінювали щодоби, постійні препарати виготовляли на гліцерин-желатині із сафраніном. Пилкові зерна підраховували під світловим мікроскопом Olympus CX-41 (×400) методом неперервних вертикальних трансект, ідентифікацію до рівня роду проводили за еталонними препаратами та Global Pollen Project [7]. Кількість пилку на 1 см² перераховували в середньодобову концентрацію (п.з/м³) за Bassett et al. [8] (розрахункові величини, не тотожні даним волюметричних пасток). Межі сезону визначали методом 95 % (2,5–97,5 % від річної суми пилку), пік – як максимальну добову концентрацію [9], інтенсивність – за сезонним пилковим індексом (SPIn). Метеодані отримано з архіву meteoblue. Зв'язок із метеофакторами оцінювали за коефіцієнтом кореляції Спірмена (ρ), зокрема із часовим зсувом 0–5 діб. Швидкість вітру та опади аналізували лише для 2026 р. через відсутність порівнюваних архівних даних.

Основні характеристики пилкових сезонів наведено в табл. 1. Сезони суттєво відрізнялися за інтенсивністю: найвище сумарне пилкове навантаження та пікову концентрацію зафіксовано у 2013 р. (SPIn = 1010,2 п.з·доба/м³; пік – 308,4 п.з/м³) [10], другим за інтенсивністю був сезон 2026 р. Найтриваліший сезон 2015 р. (32 доби) мав один із найнижчих SPIn, тобто прямий зв'язок між тривалістю сезону та сумарним пилковим навантаженням відсутній: короткі «вибухові» сезони (2013, 2026) забезпечили більше навантаження, ніж тривалі помірні (2014, 2015) [10].

Розподіл добових концентрацій в усіх сезонах був вираженим правоскошеним: медіани (0,90–3,45 п.з/м³) у кілька разів нижчі за середні значення, а основне навантаження формувалося невеликою кількістю днів з екстремально високими концентраціями. Пік пилення у 2013 р. припадав приблизно на 27–29-й день спостережень, тоді як у 2014 та 2026 рр. – на 12–16-й день [10]; у 2015 р. накопичена крива мала ступінчастий характер, що свідчить про хвилеподібне пилення.

Таблиця 1

Основні характеристики пилкових сезонів тополі

Показник	2013	2014	2015	2026
Тривалість сезону, діб	12	16	32	18
Пікова концентрація, п.з/м³	308,4	107,5	120,6	107,5
Середня добова концентрація, п.з/м³	20,2	7,9	7,7	16,5
Медіана добової концентрації, п.з/м³	1,75	0,90	1,25	3,45
Сезонний пилковий індекс (SPIn), п.з·доба/м³	1010,2	387,2	406,2	661,3

Зв'язок концентрації пилку з температурою повітря виявився нестійким за знаком: додатним у 2013 ($\rho \approx 0{,}50$) та 2014 рр. ($\rho \approx 0{,}24$) і від'ємним у 2015 ($\rho \approx -0{,}13$) та 2026 рр. ($\rho \approx -0{,}39$). Кореляція з вологістю була від'ємною у 2013–2014 рр. ($\rho \approx -0{,}46$) і близькою до нуля у 2015 та 2026 рр.

Найсильніший зв'язок у 2026 р. виявлено між концентрацією пилку та швидкістю вітру ($\rho = 0{,}78$), тоді як зв'язку з опадами практично не виявлено. Слід зважати, що ефективність уловлювання гравіметричного пилковловлювача сама залежить від швидкості вітру, тому цей зв'язок може частково мати методичний характер. За лагового аналізу найвищі кореляції з температурою у 2013 р. спостерігалися за мінімального часового зсуву, а зв'язок із вологістю повітря посилювався зі збільшенням зсуву у 2015 (максимум на лазі 2 доби, $\rho \approx 0{,}33$) і 2026 рр. (зростання ρ від $-0{,}07$ до 0,27 зі збільшенням лагу).

Отримані результати мають практичне значення в двох аспектах. По-перше, сильний зв'язок зі швидкістю вітру у 2026 р. свідчить про необхідність врахування вітрових умов і лагових асоціацій під час інтерпретації та прогнозування пилкового навантаження, хоча частина цього зв'язку може бути зумовлена особливостями гравіметричного методу відбору; перспективним є поєднання таких моделей з автоматизованим моніторингом у реальному часі [2]. По-друге, значні міжрічні піки навантаження від одного таксона свідчать про доцільність урахування алергенного потенціалу під час проєктування міської зеленої інфраструктури: уникнення монопородних насаджень та збільшення таксономічного різноманіття [1, 11]. Для оцінювання довгострокових кліматично зумовлених трендів необхідний безперервний багаторічний ряд спостережень.

Список літератури:

1. Cariñanos, P., & Casares-Porcel, M. (2011). Urban green zones and related pollen allergy: A review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. Landscape and Urban Planning, 101(3), 205–214.
2. Buters, J. T. M., Antunes, C., Galveias, A., Bergmann, K. C., Thibaudon, M., Galán, C., … Oteros, J. (2018). Pollen and spore monitoring in the world. Clinical and Translational Allergy, 8, 9.
3. Ziello, C., Sparks, T. H., Estrella, N., Belmonte, J., Bergmann, K. C., Bucher, E., … Menzel, A. (2012). Changes to airborne pollen counts across Europe. PLoS ONE, 7(4), e34076.
4. Costache, A., Berghi, O. N., Cergan, R., Dumitru, M., Neagos, A., Popa, L. G., Giurcaneanu, C., & Vrinceanu, D. (2021). Respiratory allergies: Salicaceae sensitization (Review). Experimental and Therapeutic Medicine, 21(6), 609.
5. Durham, O. C. (1946). The volumetric incidence of atmospheric allergens. IV. A proposed standard method of gravity sampling, counting, and volumetric interpolation of results. Journal of Allergy, 17(2), 79–86.
6. Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., … EAS QC Working Group. (2014). Pollen monitoring: Minimum requirements and reproducibility of analysis. Aerobiologia, 30(4), 385–395.
7. Martin, A. C., & Harvey, W. J. (2017). The Global Pollen Project: A new tool for pollen identification and the dissemination of physical reference collections. Methods in Ecology and Evolution, 8(7), 892–897.
8. Bassett, I. J., Crompton, C. W., & Parmelee, J. A. (1978). An atlas of airborne pollen grains and common fungus spores of Canada. Supply and Services Canada.
9. Bastl, K., Kmenta, M., & Berger, U. E. (2018). Defining pollen seasons: Background and recommendations. Current Allergy and Asthma Reports, 18, 73.
10. Melnychenko, H., Mylenka, M., Riznychuk, N., & Prokopiv, N. (2020). Pollen Monitoring in the City of Ivano-Frankivsk, Western Ukraine. Acta Agrobotanica, 73(4).
11. Мельниченко, Г., Семак, У., Павлик, М., & Мельниченко, Р. (2026). Аеробіологічний моніторинг в Україні: сучасний стан та концептуальні засади інтеграції до системи моніторингу атмосферного повітря. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство", 288–302.

SEMAK U. (UKRAINE, IVANO-FRANKIVSK)

THREE-LEVEL BIODIVERSITY MONITORING IN AGRICULTURAL LANDSCAPES: FRAMEWORK AND IMPLEMENTATION PROSPECTS FOR UKRAINE

Vasyl Stefanyk Carpathian National University
76018, 57 Shevchenko St., Ivano-Frankivsk, Ukraine; uliana.semak@cnu.edu.ua

Abstract. This paper proposes a conceptual framework for three-level biodiversity monitoring in agricultural landscapes, based on a comparative review of selected initiatives of different types (MonViA, LUCAS Soil Biodiversity, EU PoMS and ACRES) against six criteria. Using Essential Biodiversity Variables as an integrating framework, the approach combines three complementary levels: landscape (remote sensing and habitat connectivity), species (vascular plants, pollinators and soil invertebrates) and molecular (soil eDNA metabarcoding), supported by citizen science and open data infrastructures. For Ukraine, key institutional prerequisites are identified, and a three-phase implementation roadmap building on the existing GBIF Ukraine node is proposed.

Croplands and pastures occupy about 40 % of the Earth's land surface (Foley et al., 2005), and agricultural landscapes are among the main arenas of biodiversity loss. A 27-year study in protected areas in Germany documented a decline of more than 75 % in flying insect biomass (Hallmann et al., 2017), and intensive farming reduces soil biodiversity across Europe (Tsiafouli et al., 2015). The Nature Restoration Regulation sets legally binding targets for EU Member States, including reversing the decline of pollinator populations by 2030, and requires them to monitor progress (Regulation (EU) 2024/1991, 2024). In Ukraine, war-related damage to soils, water and ecosystems (Leal Filho et al., 2024) makes baseline data on farmland biodiversity particularly urgent.

The aim of this work is to substantiate a conceptual architecture for three-level biodiversity monitoring of agricultural landscapes and to set priorities for its stepwise introduction in Ukraine. The study combines a structured review of scientific and institutional literature (Web of Science, Scopus, Google Scholar, official programme documents); a comparative review of four initiatives of different types – a national monitoring programme (MonViA), an EU-wide survey infrastructure (LUCAS Soil Biodiversity), a thematic monitoring scheme (EU PoMS) and a results-based agri-environment scheme (ACRES) – against six criteria (spatial coverage, sampling design, indicator groups, observation frequency, data openness and citizen-science involvement); and a gap analysis of Ukrainian practice based on national regulatory and institutional documents.

The concept of Essential Biodiversity Variables (EBVs) was adopted as the integrating framework (Pereira et al., 2013). EBVs are data products derived from primary observations through standardised workflows, so their operationalisation requires field, remote-sensing and molecular data to be harmonised (Kissling et al., 2018). The proposed indicators correspond to the EBV classes of species populations (indicator taxa), community composition (soil eDNA) and ecosystem structure (habitat connectivity).

The initiatives contribute complementary elements. MonViA has developed a national set of 41 indicators covering farmland biodiversity from the landscape down to the soil (Klein et al., 2024). LUCAS Soil Biodiversity shows that harmonised DNA-based soil assessment is feasible at EU scale, with 885 sites sampled within one season in 2018 (Orgiazzi et al., 2022). EU PoMS defines a standardised core scheme for bees, hoverflies, butterflies and moths, complemented by additional modules (Potts et al., 2024). ACRES, Ireland's agri-environment scheme under the CAP Strategic Plan, combines prescription-based actions with results-based payments linked to habitat scorecards, the latter forming a core component of its Co-operation approach (DAFM, n.d.). Common lessons are a representative site network, standardised protocols, open data and a direct link to agricultural policy. The initiatives are therefore complementary rather than interchangeable: each covers only part of the monitoring chain from field data to policy use.

On this basis, a three-level architecture is proposed. The landscape level assesses habitat structure and connectivity from Sentinel-2 time series and Copernicus products (edge density, Shannon landscape diversity, graph-based connectivity). The species level covers standardised surveys of vascular plants (transects, relevé plots), pollinators (wild bees, butterflies, hoverflies) and soil invertebrates (earthworms, collembolans). The molecular level applies soil eDNA metabarcoding with complementary markers – ITS for fungi, 18S rRNA for eukaryotes including nematodes, and 16S rRNA for bacteria – to complement morphology-based surveys by detecting cryptic, microscopic and taxonomically difficult groups (Taberlet et al., 2018). This complementary level is justified by evidence that above- and below-ground biodiversity patterns are not fully congruent: mismatches cover about 27 % of the Earth's terrestrial surface (Cameron et al., 2019). Data from

all levels are harmonised through EBVs and GBIF-compatible workflows, while citizen science (iNaturalist) extends spatial coverage at moderate cost (Chandler et al., 2017).

The gap analysis found no standardised nationwide monitoring of farmland biodiversity in the reviewed sources, fragmented institutional responsibility, limited alignment with the EUNIS and MAES classifications, and a shortage of trained observers. At the same time, Ukraine became a GBIF Associate Participant in 2025 (GBIF Secretariat, 2025), which provides a ready channel for open data. A phased implementation roadmap is therefore proposed. The first phase focuses on the landscape level: adapting habitat typology to EUNIS/MAES, baseline mapping from Sentinel-2 imagery, and designing a national site network. The second phase adds the species level through observer training and certification, pilot surveys, iNaturalist integration, and strengthening the GBIF Ukraine node with GBIF-compatible workflows for farmland datasets. The third phase introduces the molecular level by developing eDNA/NGS laboratory capacity, establishing reference sampling sites, and fully operationalising EBVs. The expected outputs of the three phases are, respectively, a national farmland habitat map with a baseline connectivity index, a species-level baseline supported by an active citizen-science network, and an integrated, openly accessible EBV dataset linked to GBIF.

In conclusion, combining landscape, species and molecular levels within the EBV framework provides a more comprehensive picture of agroecosystem condition. For Ukraine, institutional conditions come first: a farmland typology compatible with EUNIS/MAES, a clear allocation of monitoring responsibilities, and open data flows supported by citizen-science platforms and biodiversity data infrastructures. In the post-war context, such baseline data are essential for planning nature-based restoration and for integration into European biodiversity data infrastructures. Early alignment with EU monitoring standards would also make Ukrainian data comparable with schemes in EU Member States. As the framework is conceptual, its sampling intensity and costs should first be tested at pilot sites.

References

1. Cameron, E. K., Martins, I. S., Lavelle, P., et al. (2019). Global mismatches in aboveground and belowground biodiversity. Conservation Biology, 33(5), 1187–1192. https://doi.org/10.1111/cobi.13311
2. Chandler, M., See, L., Copas, K., et al. (2017). Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. Biological Conservation, 213, 280–294. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004
3. DAFM [Department of Agriculture, Food and the Marine]. (n.d.). Agri-Climate Rural Environment Scheme (ACRES). Government of Ireland. Retrieved September 25, 2026, from https://www.gov.ie/acres
4. Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., et al. (2005). Global consequences of land use. Science, 309(5734), 570–574. https://doi.org/10.1126/science.1111772
5. GBIF Secretariat. (2025). Ukraine becomes an Associate Participant. https://www.gbif.org/news/1Z4jETiZDDixLBiCHAGKUn/ukraine-becomes-an-associate-participant
6. Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLOS ONE, 12(10), e0185809. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809
7. Kissling, W. D., Ahumada, J. A., Bowser, A., et al. (2018). Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at a global scale. Biological Reviews, 93(1), 600–625. https://doi.org/10.1111/brv.12359
8. Klein, K., Ogan, S., Rottstock, T., Tönshoff, C., et al. (2024). MonViA Indikatorenbericht 2024: Bundesweites Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn069418.pdf
9. Leal Filho, W., Eustachio, J. H. P. P., Fedoruk, M., & Lisovska, T. (2024). War in Ukraine: An overview of environmental impacts and consequences for human health. Frontiers in Sustainable Resource Management, 3, 1423444. https://doi.org/10.3389/fsrma.2024.1423444
10. Orgiazzi, A., Panagos, P., Fernández-Ugalde, O., et al. (2022). LUCAS Soil Biodiversity and LUCAS Soil Pesticides, new tools for research and policy development. European Journal of Soil Science, 73(5), e13299. https://doi.org/10.1111/ejss.13299
11. Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., et al. (2013). Essential biodiversity variables. Science, 339(6117), 277–278. https://doi.org/10.1126/science.1229931
12. Potts, S. G., Bartomeus, I., Biesmeijer, K., et al. (2024). Refined proposal for an EU Pollinator Monitoring Scheme (EUR 40089, JRC138660). Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/2005545
13. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. (2024). Official Journal of the European Union, L 2024/1991. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj
14. Taberlet, P., Bonin, A., Zinger, L., & Coissac, E. (2018). Environmental DNA: For biodiversity research and monitoring. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198767220.001.0001
15. Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., et al. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. Global Change Biology, 21(2), 973–985. https://doi.org/10.1111/gcb.12752

САБАДАШ О., ЧЕРЕПАНИН Р. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ПРОГАЛИНИ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІНСЬКИХ МЕХАНІЗМІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ НА ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЯХ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вулиця Шевченка, 57, місто Івано-Франківськ, Україна, 76018; e-mail: oleh.sabadash.25@cnu.edu.ua

Abstract. The theses identify key gaps in the regulatory and legal framework for assessing the effectiveness of biodiversity conservation management mechanisms in protected areas of the Ukrainian Carpathian region. The main gaps include the absence of unified criteria and indicators for management effectiveness and institutional and spatial fragmentation of regulation. Particular attention is given to the use of international assessment methodologies, including Management Effectiveness Tracking Tool (METT), Integrated Management Effectiveness Tool (IMET), Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM), and Protected Area Management Effectiveness (PAME), which are not fully integrated into the national regulatory framework. The need for an integrated and adaptive approach to assessing management effectiveness based on clear indicators and coordinated regulatory mechanisms is emphasized.

Ефективність управлінських механізмів збереження біорізноманіття на природоохоронних територіях Карпатського регіону значною мірою залежить від узгодженості нормативно-правової бази. Проведений аналіз міжнародних і національних нормативно-правових актів дотичних до функціонування природоохоронних територій засвідчує, що основною проблемою є недостатня інтегрованість цих норм у цілісну систему оцінювання ефективності управління природоохоронними територіями. Чинна нормативна база не встановлює єдиних критеріїв, показників та процедур регулярного оцінювання результативності управлінських рішень, а також не формує чіткого механізму державного аудиту ефективності природоохоронної діяльності. Унаслідок цього сучасне оцінювання потребує використання загальновизнаних міжнародних методики розроблених IUCN та іншими природоохоронних та екологічними інституціями, зокрема Інструмент відстеження ефективності управління природоохоронними територіями (METT – Management Effectiveness Tracking Tool), Інтегрований інструмент оцінювання ефективності управління природоохоронними територіями (IMET – Integrated Management Effectiveness Tool), Експрес-оцінка та визначення пріоритетів управління природоохоронними територіями (RAPPAM – Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management) та Оцінювання ефективності управління природоохоронними територіями (PAME – Protected Area Management Effectiveness) та їх інтеграції у національну систему нормативного регулювання.

Суттєвою прогалиною залишається також інституційна та просторова фрагментація нормативного регулювання. Повноваження у сфері охорони природи, лісового та мисливського господарства, земельних і водних ресурсів регламентуються різними нормативними актами, що може ускладнювати координацію управлінських рішень. Водночас землі природно-заповідного фонду, екомережа, мисливські угіддя та різні категорії лісів визначаються за різними правилами, межами й переліками. Для Карпатського регіону це створює додаткові труднощі під час комплексного просторового аналізу та оцінювання реальної екологічної зв’язності природоохоронних територій.

Окремим обмеженням є недостатня нормативна увага до фінансової та кадрової спроможності установ природно-заповідного фонду. Навіть наявність формально визначених природоохоронних функцій не гарантує їх ефективного виконання за умов недостатнього фінансування, матеріального забезпечення та кадрових ресурсів. Водночас ці чинники мають розглядатися як складові оцінки ефективності управлінських механізмів, а не лише як організаційні передумови функціонування ПЗФ.

Отже, подальше вдосконалення нормативної бази доцільно спрямовувати на формування єдиної системи оцінювання ефективності управління природоохоронними територіями на основі чітких критеріїв та індикаторів, узгодження просторових і галузевих норм, посилення моніторингу, а також врахування інституційної, фінансової та кадрової спроможності установ ПЗФ. Такий підхід створить передумови до результативного та адаптивного управління природоохоронними територіями Карпатського регіону.

ПОДШИВАЙЛОВА Т.О., РУСИН І.Б. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВПЛИВ ВІЙНИ НА ТВАРИННИЙ СВІТ УКРАЇНИ: ЕКОЛОГО-ЕТИЧНІ АСПЕКТИ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна; tetiana.podshyvailova.eo.2023@lpnu.ua

Abstract. The theses examine the impact of military activities on the of Ukraine and its natural habitats. The study analyzes the primary threats faced by both wild and domestic animals, including habitat destruction, landmines, fires, soil and water pollution, noise pollution, and the forced displacement of animals. Special attention is given to the ethical dimension of the issue and humanity's responsibility for preserving biodiversity amidst the challenges of warfare.

Війна є одним із найбільш значних факторів, що негативно впливають на довкілля. Її наслідки торкаються не лише людей, але й усіх компонентів природних екосистем. В Україні через бойові дії серйозно страждають ліси, степи водно-болотні угіддя, річки, моря та інші природні території. Через руйнування екосистем змінюються умови існування багатьох видів тварин.

Проблема впливу війни на живий світ має не тільки екологічний, а й етичний аспект. Екологічна етика займається вивченням моральних відносин людини з природою та підкреслює важливість відповідального ставлення до живих організмів і природних систем. Захист тварин в умовах війни є не лише завданням природоохоронної діяльності, але й справою моральної відповідальності суспільства.

Воєнні дії безпосередньо впливають на тварин через вибухи, обстріли, пожежі та руйнування природних територій. Ці вибухи призводять до загибелі чи травмування тварин, а постійний шум заважає їхній нормальній поведінці. Дикі тварини змушені залишати звичні місця існування, змінювати маршрути переміщення та шукати нові джерела їжі та води.

Суттєвою проблемою стає знищення природних середовищ існування. Пожежі, вибухи, рух військової техніки та забруднення грунтів і водойм сприяють деградації екосистем. Особливо небезпечно мінування територій, що загрожує життю тварин і порушує їхні міграційні шляхи. Особливо страждають рідкісні види та тварини, чиї місця проживання були знищені.

Водні екосистеми також потерпають від війни. Забруднення річок, озер і морів хімікатами та нафтопродуктами завдає шкоди рибам, птахам, земноводним і іншим організмам. Це може призвести до зменшення чисельності окремих видів і порушення природної рівноваги. Яскравим прикладом стало руйнування Каховської дамби у 2023 році, що призвело до значних змін водних екосистем.

Окремо стоїть питання домашніх та сільськогосподарських тварин. Через бойові дії багато з них залишаються без господарів, корму та ветеринарної допомоги. Водночас волонтери, притулки й громадські організації працюють над порятунком постраждалих тварин.

Ця проблема має не тільки екологічний, а й етичний характер. Тварини не є учасниками воєнного конфлікту, але страждають від його наслідків. З позицій екологічної етики людина несе відповідальність за збереження живої природи та біорізноманіття. Тому захист тварин є проявом гуманного й відповідального ставлення до навколишнього середовища.

Після завершення війни важливими завданнями стануть розмінування територій, очищення грунтів і водойм, відновлення природних оселищ та моніторинг стану тваринного світу. Збереження і відновлення біорізноманіття має стати ключовою складовою відновлення України.

З точки зору екологічної етики, захист тварин є проявом людської відповідальності перед природою. Важливі завдання зараз полягають у збереженні біорізноманіття, допомозі постраждалим тваринам та відновленні природних середовищ. Це не лише екологічна, а й моральна відповідальність суспільства перед майбутнім поколінням.

Список літератури:

1. Овчинников, О. (2026, 26 березня). *Екологічні наслідки війни в Україні. Грудень – лютий 2026 року*. Ukraine War Environmental Consequences Work Group. https://uwecworkgroup.info/uk/environmental-consequences-of-the-war-in-ukraine-dec-2025-february-2026-review/
2. Духневич, А. В., & Карпінська, Н. В. (2025). Екологічні наслідки війни: оцінка впливу відходів на навколишнє середовище [Environmental consequences of war: Assessment of the impact of waste on the environment]. *Аналітично-порівняльне правознавство*, (1), 329–334. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.01.55

ОГІЛЬКО С.П. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ФІТОЦЕНОЗАХ ПРИДОРОЖНІХ ДІЛЯНОК АВТОШЛЯХУ М-05 КИЇВ–ОДЕСА

Уманський національний університет
20300, вул. Інститутська, 1, Умань, Україна; stanislav.ohilko@unu.edu.ua

Abstract. The study compares field environmental indicators and plant species richness at five monitoring plots located along the M-05 Kyiv–Odesa highway. Air temperature and relative humidity, maximum traffic noise, readings of particulate matter fractions, and vegetation characteristics were recorded during sequential field observations. Species richness was assessed using the Menhinick index. The results show substantial differences among plots and indicate that roadside phytocenoses are shaped by a combination of traffic pressure, local habitat structure and adjacent land-use conditions rather than by a single measured factor.

Автомобільні шляхи є вираженими лінійними елементами антропогенно трансформованих ландшафтів. Їх функціонування супроводжується шумовим навантаженням, перенесенням пилових часток, механічним порушенням рослинного покриву та зміною умов існування придорожніх фітоценозів. Водночас узбіччя можуть виконувати функцію оселищ для судинних рослин і коридорів їх поширення, у тому числі для чужорідних видів [1;2]. Тому оцінювання стану таких ділянок доцільно проводити комплексно, поєднуючи фізичні показники середовища з характеристиками рослинності.

Метою дослідження було порівняти польові екологічні показники п’яти послідовно розташованих моніторингових полігонів автошляху М-05 Київ–Одеса та зіставити їх із видовим багатством придорожньої рослинності. Під час обстеження визначали температуру і відносну вологість повітря, фіксували максимальні рівні шуму від автотранспорту, реєстрували показники пилових часток фракцій 1; 2,5 та 10 мкм і проводили облік рослинності. Вимірювання виконували послідовно у ранковій та передобідній частині дня, тому наведені дані характеризують умови конкретного польового обстеження і використовуються насамперед для порівняння полігонів між собою.

Для оцінки видового багатства застосовували індекс Менхініка:

$$M = S/\sqrt{N} \qquad (1)$$

де S – кількість зареєстрованих видів, N – загальна чисельність облікованих особин. Для розрахунків використано значення з вихідних таблиць польових матеріалів.

Таблиця 1

Порівняльні польові показники моніторингових полігонів автошляху М-05 Київ–Одеса

Полігон	t, °C	RH, %	S	N	M	Макс. шум, дБ	Пилові частки 1 / 2,5 / 10 мкм*
№1	25,1	64,7	46	81	5,111	89,5	23 / 35 / 42
№2	25,0	63,9	36	48	5,196	98,0**	26 / 35 / 40
№3	24,5	65,5	32	56	4,276	92,9	25 / 37 / 44
№4	25,7	61,7	23	38	3,731	98,7	25 / 36 / 44
№5	24,9	62,0	7	8	2,474	95,9	21 / 28 / 29

**Подано покази приладу для трьох розмірних фракцій. ** Значення 98,0 дБ на полігоні №2 зафіксовано для окремого легкового автомобіля з модифікованою вихлопною системою і не розглядається як типовий рівень шуму для легкового транспорту.*

Порівняння результатів виявило відмінності за фізичними показниками середовища та характеристиками рослинності. Температура повітря змінювалася у вузькому діапазоні 24,5–25,7 °C, відносна вологість – 61,7–65,5 %. Максимальні зафіксовані рівні шуму становили 89,5–98,7 дБ. Найвище значення 98,7 дБ зареєстровано на полігоні №4 для вантажного транспорту. Показник 98,0 дБ на полігоні №2 мав епізодичний характер і був пов’язаний з окремим автомобілем. Найвищі покази пилових часток фракції 10 мкм – 44 – отримано на полігонах №3 і №4, а найнижчі значення трьох фракцій зафіксовано на полігоні №5 – 21, 28 і 29.

За характеристиками рослинності найбільшу абсолютну кількість видів зареєстровано на полігоні №1 – 46 за 81 облікованої особини. Індекс Менхініка тут становив 5,111. На полігоні №2 виявлено 36 видів і 48 особин, однак значення індексу було дещо вищим – 5,196. Це пояснюється тим, що показник Менхініка враховує не лише кількість видів, а й загальну чисельність облікованих особин. На полігонах №3–5 кількість видів послідовно зменшувалася до 32, 23 і 7, а індекс – до 4,276; 3,731 та 2,474 відповідно.

Зіставлення фізичних показників із видовим багатством не виявило однозначної залежності. Полігони №3 і №4 мали однаковий максимальний показ пилових часток фракції 10 мкм – 44, але різні значення індексу Менхініка – 4,276 і 3,731. На полігоні №5 покази пилових часток були найнижчими, проте саме тут зафіксовано мінімальне видове багатство. Подібна картина спостерігається і для шуму: на полігоні №2 при піковому значенні 98,0 дБ індекс був найвищим, тоді як на полігоні №4 за 98,7 дБ він був істотно нижчим.

Окремої уваги заслуговує порівняння полігонів №1 і №2. За майже однакових температури та відносної вологості вони відрізнялися за абсолютною кількістю видів і чисельністю облікованих особин. На полігоні №1 виявлено на 10 видів більше, однак індекс Менхініка був трохи нижчим. Отже, використання лише показника S могло б створити інше уявлення про співвідношення ділянок, ніж нормований індекс. Для полігонів №3 і №4, навпаки, близькі покази пилових часток поєднувалися зі зменшенням кількості видів з 32 до 23 та індексу з 4,276 до 3,731. Такі контрасти свідчать, що для інтерпретації стану придорожньої рослинності необхідно одночасно враховувати кілька груп показників.

Отримані результати слід трактувати з урахуванням організації польових робіт. Вимірювання виконували послідовно, тому температура, вологість, шум і пилові частки відображають умови конкретного моменту спостереження. Максимальні рівні шуму характеризують окремі транспортні події, а покази пилових часток – стан повітря під час вимірювання, а не довгострокове середнє навантаження. Тому наведені дані є коректною основою для порівняння полігонів і планування повторних спостережень, але не для встановлення причинно-наслідкового зв’язку між одним фактором і видовим багатством.

Для підвищення зіставності наступних етапів моніторингу доцільно зберігати однакову послідовність вимірювань, повторювати обстеження у близькі за погодними умовами періоди та окремо фіксувати особливі транспортні події, здатні формувати короткочасні піки шуму. Поряд із повторними вимірюваннями фізичних параметрів важливим є повторний облік рослинності на тих самих полігонах. Це дозволить відокремлювати стійкі просторові відмінності між ділянками від короткочасної мінливості, пов’язаної з конкретним часом спостереження, і простежувати напрям змін видового складу в межах придорожньої смуги.

Формування придорожніх фітоценозів має комплексний характер і може залежати від ширини придорожньої смуги, рельєфу, наявності лісосмуг і сільськогосподарських угідь, локальних порушень та режиму утримання узбіч. У сучасних дослідженнях наголошується, що вплив дорожньої інфраструктури на рослинність доцільно оцінювати не лише за кількістю видів, а й з урахуванням структури угруповань та екологічних умов [3]. Придорожні смуги можуть одночасно підтримувати місцеве різноманіття та сприяти поширенню чужорідних видів [1; 2], а екологічно обґрунтоване їх утримання створює можливості для відновлення трав’яних угруповань [4].

Повторні обстеження на тих самих полігонах дадуть змогу сформувати часові ряди та зіставляти зміни індексу Менхініка з динамікою шуму, пилових часток і станом прилеглої території. Це допоможе відокремити стійкі просторові відмінності від короткочасної мінливості умов спостереження.

Отже, на п’яти моніторингових полігонах автошляху М-05 Київ–Одеса встановлено відмінності польових екологічних показників і видового багатства придорожньої рослинності. Індекс Менхініка змінювався від 5,196 до 2,474, а максимальні зафіксовані рівні шуму – від 89,5 до 98,7 дБ. Відсутність прямої відповідності між окремими фізичними показниками та видовим багатством підтверджує доцільність комплексного моніторингу транспортно-стрічкових ландшафтів, у якому параметри середовища аналізують разом із видовим складом, чисельністю рослин і локальними особливостями прилеглої території.

Список літератури:

1. Mell H., Fack V., Percevault L. et al. Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or a corridor for vascular plants in temperate ecosystems? A systematic review. Environmental Evidence. 2024. Vol. 13. Art. 4. DOI: 10.1186/s13750-024-00328-3. (дата звернення: 21.09.2026).

2. Son D., Chu Y., Lee H. Roads as conduits for alien plant introduction and dispersal: The amplifying role of road construction in Ambrosia trifida dispersal. Science of the Total Environment. 2024. Vol. 912. 169109. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169109. (дата звернення: 22.09.2026).

3. Li H., Luo P., Yang H., Luo C., Xie W., Jia H., Cheng Y., Huang Y. Assessing the effect of roads on mountain plant diversity beyond species richness. Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. 985673. DOI: 10.3389/fpls.2022.985673. (дата звернення: 21.09.2026).

4. Valkó O., Fekete R., Molnár V. A., Halassy M., Deák B. Roadside grassland restoration: Challenges and opportunities in the UN decade on ecosystem restoration. Current Opinion in Environmental Science & Health. 2023. Vol. 34. 100490. DOI: 10.1016/j.coesh.2023.100490. (дата звернення: 23.09.2026).

ТОМАШУК І.В. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ЦИФРОВИЙ МОНІТОРИНГ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Вінницький національний аграрний університет
21008, вул. Сонячна, 3, Вінниця, Україна; office@vsau.org

Abstract. The role of digital monitoring and environmental risk assessment in ensuring the sustainable development of agricultural production has been investigated. The study substantiates the use of modern digital technologies - specifically Earth remote sensing, GIS, IoT, and Big Data - for the timely detection of environmental threats. A systemic approach to risk assessment is proposed, aimed at the rational use of natural resources, biodiversity conservation, enhanced environmental safety, and the establishment of a sustainable development model for the agricultural sector.

Сучасне аграрне виробництво функціонує в умовах зростання екологічних викликів, зокрема деградації ґрунтів, забруднення водних ресурсів, втрати біорізноманіття та посилення кліматичних ризиків. У таких умовах цифровий моніторинг та оцінка екологічних ризиків набувають особливого значення як інструменти своєчасного виявлення загроз, обґрунтування управлінських рішень і підвищення екологічної ефективності аграрного виробництва. Використання ГІС-технологій, дистанційного зондування, IoT та аналітики великих даних створює можливості для формування більш стійкої та ресурсоефективної моделі розвитку аграрного сектору.

Екологічний ризик в аграрному виробництві - це ймовірність виникнення негативних змін у стані природних ресурсів та довкілля внаслідок сільськогосподарської діяльності, які можуть спричинити екологічні, економічні та соціальні втрати (табл. 1). Особливістю аграрного виробництва є його безпосередня залежність від стану ґрунтів, водних ресурсів, кліматичних умов і біорізноманіття.

Таблиця 1

Основні види екологічних ризиків та фактори їх формування в аграрному виробництві

Вид ризику	Основний зміст	Фактори формування	Можливі наслідки
Деградація ґрунтів	Втрата родючості та погіршення властивостей ґрунту	Ерозія, ущільнення, виснаження, порушення сівозмін	Зниження продуктивності земель
Хімічне забруднення	Накопичення забруднювачів у ґрунті та воді	Надмірне застосування добрив і пестицидів	Погіршення якості ґрунтів, води та продукції
Водний ризик	Дефіцит і забруднення водних ресурсів	Надмірне водокористування, стоки, нераціональне зрошення	Дефіцит води, деградація водних екосистем
Кліматичний ризик	Вплив несприятливих кліматичних змін	Посухи, температурні аномалії, зливи, заморозки	Втрати врожаю, зростання виробничих ризиків
Втрата біорізноманіття	Скорочення видового та генетичного різноманіття	Монокультури, знищення природних оселищ, хімізація	Зниження стійкості агроекосистем
Біологічний ризик	Поширення шкідників, хвороб та інвазивних видів	Кліматичні зміни, порушення технологій, низьке різноманіття	Зниження врожайності та додаткові витрати
Атмосферний ризик	Забруднення повітря та викиди парникових газів	Робота техніки, спалювання решток, застосування добрив	Погіршення якості повітря, посилення кліматичних змін
Техногенний ризик	Забруднення довкілля внаслідок аварій і технічних процесів	Витоки пального, аварії техніки, порушення зберігання речовин	Локальне забруднення ґрунтів і вод
Воєнно-екологічний ризик	Порушення стану природних ресурсів через воєнні дії	Мінування, пожежі, руйнування, забруднення територій	Деградація земель, забруднення ґрунтів і вод

Джерело: [1, 2]

Екологічні ризики аграрного виробництва формуються під впливом природних, антропогенних, технологічних та кліматичних чинників. Їх комплексний характер зумовлює необхідність постійного моніторингу стану природних ресурсів та своєчасного виявлення потенційних загроз. У цьому контексті цифрові технології створюють можливості для оперативного збору, обробки та аналізу екологічної інформації.

Сталий розвиток аграрного сектору передбачає збалансоване поєднання економічної результативності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності. В умовах зміни клімату, деградації земель, дефіциту природних ресурсів і зростання антропогенного навантаження особливого значення набувають раціональне використання ресурсів, впровадження екологічно безпечних технологій та цифрових інструментів моніторингу. Основні концептуальні засади сталого розвитку аграрного сектору наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Концептуальні основи забезпечення сталого розвитку аграрного сектору

Концептуальна засада	Основний зміст	Практичне спрямування
Економічна збалансованість	Забезпечення прибутковості аграрного виробництва за одночасного врахування екологічних обмежень	Підвищення продуктивності, оптимізація витрат, інвестиції в ресурсозберігаючі технології
Екологічна безпека	Мінімізація негативного впливу аграрної діяльності на довкілля	Захист ґрунтів і водних ресурсів, зменшення забруднення, збереження біорізноманіття
Раціональне використання ресурсів	Ефективне використання землі, води, енергії та інших природних ресурсів	Точне землеробство, оптимізація зрошення, скорочення втрат ресурсів
Адаптація до зміни клімату	Підвищення стійкості аграрного виробництва до кліматичних ризиків	Посухостійкі культури, адаптивні технології, прогнозування погодних ризиків
Цифровізація	Використання цифрових технологій для моніторингу та управління виробничими процесами	ГІС, дистанційне зондування, IoT, супутниковий моніторинг, Big Data
Циркулярність виробництва	Максимальне залучення відходів і побічної продукції у повторне використання	Компостування, біогаз, переробка органічних відходів, повторне використання ресурсів
Інноваційність	Постійне впровадження нових технологій і управлінських підходів	Smart Farming, автоматизація, біотехнології, екологічні інновації

Джерело: [1, 2]

Інтегральне оцінювання екологічних ризиків є важливим інструментом комплексної діагностики екологічної безпеки аграрного підприємства, оскільки дає змогу об’єднати різнорідні показники в один узагальнений індекс. Такий підхід дозволяє не лише визначити масштаб екологічних загроз, а й порівнювати підприємства, відстежувати динаміку ризиків у часі та обґрунтовувати управлінські рішення щодо їх мінімізації. Для аграрних підприємств це особливо актуально через залежність виробництва від стану ґрунтів, водних ресурсів, кліматичних умов та рівня антропогенного навантаження.

Пропонуємо розглянути інтегральний індекс екологічного ризику (IEP) на основі системи нормованих показників. Для показників, зростання яких означає підвищення екологічного ризику, можна застосувати:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\,min}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \quad (1)$$

де Z_{ij} – нормоване значення j-го показника для і-го підприємства; X_{ij} – фактичне значення показника; X_{jmin}, X_{jmax} – мінімальне та максимальне значення показника.

Для показників, зростання яких свідчить про зменшення ризику, використовується обернене нормування:

$$Z_{ij} = \frac{X_{jmax} - X_{ij}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \quad (2)$$

У результаті значення всіх показників приводяться до єдиної шкали від 0 до 1, де більше значення відповідає вищому рівню екологічного ризику. Найбільш практичним є зважене агрегування, а саме:

$$IEP_i = \sum_{j=1}^{n} w_j Z_{ij} \quad (3)$$

де IEP_i – інтегральний індекс екологічного ризику і-го підприємства; Z_{ij} – нормоване значення показника; w_j – ваговий коефіцієнт показника; n – кількість показників; $\sum w_j=1$.

Ваги можна визначити експертним методом, методом головних компонент, ентропійним методом або встановити однаковими, якщо всі показники вважаються рівнозначними.

Сталий розвиток аграрного сектору потребує ефективної системи управління, заснованої на своєчасному моніторингу та аналізі екологічних і виробничих даних. Цифрові технології сприяють виявленню екологічних ризиків, раціональному використанню ресурсів, кліматичній адаптації та обґрунтуванню управлінських рішень.

Список літератури:

1. Томашук І.В., Томашук І.О., Бурдяк М.І., Борболюк Є.А. Особливості використання цифрових технологій в аграрних підприємствах в контексті продовольчої безпеки. Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2025. № 3(73). С. 71–90. DOI: 10.37128/2411-4413-2025-3-5.

2. Томашук І.В., Германюк Н.В., Коваль Н.І. Інституційні стратегії розвитку інновацій як інструменти сталого економічного зростання. Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2025. № 1(71). С. 113–128. DOI: 10.37128/2411-4413-2025-1-8.

ЧЕНЧАК М.М., МІЛЬОВИЧ С.С. (УКРАЇНА, УЖГОРОД)

ЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ІНДИКАТОРІВ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДАНИМИ РЕГІОНАЛЬНИХ ДОПОВІДЕЙ ПРО СТАН ДОВКІЛЛЯ (ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСТЬ)

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
88000, пл. Народна, 3, Ужгород, Україна; mykhailo.chenchak@uzhnu.edu.ua

Abstract. Regional state-of-environment reports were not designed for reporting on the Sustainable Development Goals, yet they are the main consolidated source of past oblast-level environmental data. Six annual reports of Lviv Oblast (2019–2024) were assessed against 37 and 44 environmental SDG indicators of two national lists with a large language model under a pre-approved protocol, every positive rating being supported by a quotation. Values are given for only 6.8–16.2 % of indicators per year, and even stated values often do not form comparable time series. These limitations stem mostly from the state accounting and monitoring system and from the indicator list itself. Recommendations are proposed for report compilers, data holders and researchers.

Актуальність. Досягнення Цілей сталого розвитку є одним із ключових завдань політики держави, оскільки поєднує економіку, екологію та соціальну сферу. Україна відстежує досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР) за національним переліком індикаторів. У 2024 році розпорядженням КМУ № 1190-р перелік індикаторів, затверджений розпорядженням № 686-р, замінено новим [1, 2], і за ним вимагають подати також наявні дані за 2015–2023 роки. Основним зведеним джерелом обласних екологічних даних за попередні роки є щорічна доповідь про стан навколишнього природного середовища, хоча створювалася вона для інформування громадськості, а не для звітності за ЦСР. Тому постає питання, наскільки цим наявним джерелом можна скористатися для моніторингу ЦСР і що цьому заважає. Без оцінки наявної інформаційної бази неможливо судити про прогрес у досягненні екологічних цілей. На дані доповідей спираються й дослідження стану довкілля області, тож від порівнянності цих даних між роками залежить і надійність їхніх висновків. Мета роботи полягала в тому, щоб оцінити, наскільки щорічні доповіді про стан довкілля Львівської області за 2019–2024 роки забезпечують даними екологічні індикатори ЦСР і що перешкоджає використанню цих даних для моніторингу.

Стан проблеми. Доступність даних за ЦСР досліджують переважно на національному рівні (ООН, ОЕСР). Найбільші прогалини в даних припадають на екологічні та соціальні цілі [3], а на регіональному рівні національні індикатори часто не мають відповідника. В українських публікаціях кількісної оцінки того, які екологічні індикатори ЦСР забезпечує обласна доповідь, не виявлено.

Матеріали і методи. Проаналізовано шість щорічних доповідей про стан довкілля у Львівській області за 2019–2024 роки (1808 сторінок) [4]. Відібрано екологічні індикатори обох переліків: 37 за переліком 2019 року і 44 за чинним. До них віднесено всі індикатори цілей 6 (чиста вода), 12 (відповідальне споживання й виробництво), 13 (пом’якшення наслідків зміни клімату) і 15 (екосистеми суші), а з цілей 7 (енергетика) і 11 (міста і громади) лише ті, що характеризують тиск на довкілля або його стан. Для кожного індикатора за кожен рік (разом 450 випадків) визначено один із чотирьох рівнів забезпеченості: доповідь наводить його кількісне значення; значення можна обчислити з чисел доповіді; відповідний компонент довкілля лише описано; компонент не згадано. Правила віднесення до рівнів зведено в протокол оцінювання, розроблений з використанням мовної моделі й затверджений до початку роботи. За цим протоколом тексти доповідей опрацьовано великою мовною моделлю Claude Opus 5 [5]. Для кожного індикатора модель знаходила в тексті відповідні фрагменти, а кожну оцінку «наведено» чи «можна обчислити» підтверджено дослівною цитатою з номером сторінки. Надійність оцінок перевірено повторним і сліпим оцінюванням, іншою моделлю (Claude Sonnet 4.5) та ручним контрольним оцінюванням; коефіцієнт узгодженості κ Коена становив 0,62–0,90. Наведені значення звірено з офіційними даними Держстату [6]. Дослідження є першим застосуванням підходу до зіставлення екологічних текстів з індикаторами ЦСР; похибку цього підходу оцінено в окремій роботі.

Результати. Кількісні значення наведено лише для 6,8–16,2 % індикаторів ЦСР на рік (табл. 1). Із 450 випадків значення наведено в 42, може бути обчислене ще в 42, лише описане в 253 і відсутнє в 113. Навіть для 20 індикаторів, для яких чинний перелік прямо вимагає обласних даних, значення наведено лише в 15,0 % випадків. За цілями чинного переліку найкраще забезпечені ЦСР 11 «Міста і громади» (16,7 % випадків) і ЦСР 15 «Екосистеми суші» (13,6 %), а для ЦСР 7 «Чиста енергія» і ЦСР

13 «Зміна клімату» значень не наведено жодного разу. У 56 % випадків доповідь описує відповідний компонент довкілля, але не подає показника в тому вигляді, якого вимагає індикатор. В усі роки наведено лише обсяг скидів забруднених стічних вод і показники природно-заповідного фонду; показники стану довкілля забезпечені найгірше, а кліматичні й енергетичні індикатори не наведено жодного разу. Найчастіші причини незабезпеченості такі: доповідь подає дані лише за попередні роки; значення не оновлюються й повторюються з року в рік; для відносних показників немає даних для знаменника (наприклад, валового регіонального продукту для показників на одиницю ВРП); територіальний розріз даних не відповідає вимозі індикатора. Навіть наведені значення часто не утворюють порівнянних рядів: змінюються категорії обліку, застарілі дані повторюються як поточні, а обстеження щороку охоплюють різні ділянки. Наприклад, у 2020 році обсяг «забруднених» скидів зріс у 2,7 раза за незмінного загального обсягу скидів. Здебільшого ці обмеження походять не від укладачів доповідей, а від системи державного обліку й моніторингу, дані якої доповідь відтворює. З нового переліку вилучено індикатор викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря і єдиний індикатор якості повітря саме тоді, коли нова мережа моніторингу повітря в області лише почала працювати (перші дані – з вересня 2024 року), а жоден із 21 нового індикатора, зокрема стан масивів поверхневих вод, у доповідях прямо не наведено.

Таблиця 1

Частка індикаторів ЦСР, кількісні значення яких наведено в доповідях, % (у дужках – кількість індикаторів)

Перелік	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Перелік 2019 р. (№ 686-р), 37 індикаторів	16,2 (6)	10,8 (4)	8,1 (3)	10,8 (4)	10,8 (4)	8,1 (3)
Чинний перелік (№ 1190-р), 44 індикатори	13,6 (6)	11,4 (5)	6,8 (3)	6,8 (3)	9,1 (4)	6,8 (3)
у т. ч. 20 індикаторів з обов'язковим обласним розрізом	25,0 (5)	20,0 (4)	10,0 (2)	10,0 (2)	15,0 (3)	10,0 (2)

У доповідях за 2021–2024 роки частка індикаторів з наведеними значеннями нижча, ніж у доповідях за 2019–2020 роки: 9,5 % проти 13,5 % за переліком 2019 року і 7,5 % проти 12,5 % за чинним переліком. Цю різницю утворюють лише три групи показників (якість питної води, вміст гумусу, відходи), а перестановочний тест її значущості не підтверджує.

Висновки. Доповіді Львівської області за 2019–2024 роки в нинішньому вигляді не можуть бути повноцінним джерелом даних для екологічних індикаторів ЦСР. Зміни стану вод, ґрунтів і атмосферного повітря області за цими індикаторами простежити не можна. Здебільшого перешкоди лежать поза самою доповіддю: у системі державного обліку й моніторингу та в неузгодженості переліку індикаторів із можливостями регіонального моніторингу. Водночас частину значень (42 з 450 випадків) можна навести вже зараз, обчисливши їх з чисел самої доповіді. Тому укладачам доповідей доцільно наводити такі значення, позначати рік фактичного обліку даних і обсяг обстежених вибірок, а центральному органу виконавчої влади у сфері охорони довкілля доцільно внести ці вимоги до методичних рекомендацій щодо підготовки доповідей. Установі, що проводить агрохімічну паспортизацію, доцільно публікувати обласні результати за завершеним туром, а розпорядникам обліку природно-заповідного фонду варто узгодити базу обліку його площі (зараз площу наводять у двох різних базах). Дослідникам, які будують за даними доповідей часові ряди, варто перевіряти незмінність категорії обліку, рік фактичного обліку, обсяг обстеженої вибірки та базу розрахунку. Опрацювання доповідей мовною моделлю робить посильним повторення оцінки для інших областей, а той самий підхід придатний і для інших екологічних документів, наприклад, звітів з оцінки впливу на довкілля. Оскільки кожну оцінку підтверджено цитатою з номером сторінки, результати можуть перевіряти й використовувати інші дослідники та органи моніторингу.

Список літератури:

1. Кабінет Міністрів України. (2024). *Деякі питання забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку в Україні* (Розпорядження № 1190-р від 29.11.2024). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1190-2024-р
2. Кабінет Міністрів України. (2019). *Питання збору даних для моніторингу реалізації цілей сталого розвитку* (Розпорядження № 686-р від 21.08.2019). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/686-2019-р
3. OECD. (2025). *Mind the SDG data gaps: Insights from the OECD SDGs Hub* (OECD Policy Insights on Well-being, Inclusion and Equal Opportunity, No. 20). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9aff09e2-en
4. Департамент екології та природних ресурсів Львівської ОДА. (2020–2025). *Регіональні (щорічні) доповіді про стан навколишнього природного середовища у Львівській області за 2019–2024 роки*. Львів.
5. Anthropic. (2026). *Claude Opus 5* [Велика мовна модель]. https://www.anthropic.com/claude
6. Державна служба статистики України. (б. д.). *Індикатори цілей сталого розвитку: платформа моніторингу*. Процитовано 22 вересня 2026 р., з https://sdg.stat.gov.ua/uk/

ГНАТІВ І.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У РІЧКОВИХ БАСЕЙНАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ

Національний лісотехнічний університет України
79057, вул. Генерала Чупринки, 134, Львів, Україна; igor.gnativ@nltu.edu.ua

Abstract. Atmospheric precipitation acts as a fundamental determinant shaping the morphostructure of the catchment and river channel, as well as the overall functioning of basin systems. It directly affects the denudation surface, modulates the intensity of erosional, sheet-wash, and hydrochemical processes within the river basin, and serves as either a catalyst or an inhibitor of anthropogenic pressure on the river basin's geo-ecological state.

Загальний характер атмосферної циркуляції над досліджуваним регіоном визначається постійною динамічною зміною циклональних і антициклональних баричних утворень. Генерація атмосферних опадів переважно пов'язана з рухом фронтальних зон, які найчастіше переміщуються у двох макроциркуляційних напрямках: захід – схід та з північного сходу, тоді як траєкторія північний захід – південний схід фіксується дещо рідше [1]. Визначальне кліматотвірне значення мають циклонічні системи середземноморського походження, що перетинають Карпатський регіон, а також чорноморські баричні утворення. Активізація цих процесів призводить до різкого погіршення погодних умов на європейському континенті й супроводжується високоінтенсивними зливами. На річках Українських Карпат випадіння серій таких дощів зумовлює формування катастрофічних паводків, а супровідні шквалисті вітри спричиняють масові вітровали та буреломи. Водночас у середньому багаторічному розрізі антициклонічна діяльність у Карпатах переважає над циклогенезом, що зумовлено регулярним транзитом антициклонів за вектором захід – північний схід та частим розширенням західних відгалужень східноєвропейських антициклональних систем [2].

Потужність, тривалість залягання та просторова неоднорідність розподілу снігового покриву на схилових поверхнях виступають провідними чинниками диференціації геоморфогенезу. Інтенсивніший деструктивний змив ґрунтового покриву фіксується на схилах західної та південно-західної експозицій [3]. Натомість пролонгована акумуляція снігового масиву на схилах північної та північно-східної експозицій спричиняє критичне перезволоження ґрунтової маси, що ініціює її подальше низхідне гравітаційне зміщення вздовж профілю схилу [2]. Результати виконаного аналізу свідчать про те, що наявна щільність та просторова конфігурація опадомірної мережі у досліджуваних річкових басейнах орієнтовані на завдання регіонального гідрологічного прогнозування. Вона забезпечує належну точність обчислення осереднених шарів опадів для великих за площею водозборів, але є недостатньою для проведення детальних великомасштабних геоморфологічних досліджень.

Атмосферні опади виступають базовим детермінуючим чинником формування морфоструктури водозбору й русла і загального функціонування басейнових систем. Вони безпосередньо впливають на денудаційну поверхню, моделюють інтенсивність ерозійних, площинних та гідрохімічних процесів у межах річкового басейну, а також виступають каталізатором або інгібітором антропогенного тиску на геоекологічний стан річкового басейну. У межах басейну Верхнього Дністра систематичний моніторинг кількості, тривалості і інтенсивності опадів забезпечується мережею з п'яти метеорологічних станцій та 15 метеорологічних постів [2]. Інформаційною базою дослідження слугували багаторічні масиви даних Львівського обласного центру з гідрометеорології та Карпатської гідрографічної обсерваторії у місті Стрий. Основна частина моніторингових пунктів зосереджена в межах гірської (карпатської) частини басейну Дністра, де фіксуються максимальні за обсягом та екстремальні за інтенсивністю добові шари опадів. Саме вони виступають головними причинами активізації деструктивних гідроморфологічних процесів: проходження високопікових паводків, а також інтенсифікації площинного та лінійного змиву ґрунтів.

Список літератури:

1. Моргач ОВ., Явкін В.Г. Особливості мезомаштабних проявів атмосферних процесів в межах гірських країн (на прикладі Українських Карпат). Гідрологія, гідрохімія та гідро екологія. Т.2. 2001. С.807-817.
2. Пилипович О.В., Ковальчук І. П. Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра: монографія [за науковою редакцією професора І.П. Ковальчука]. Львів–Київ: ЛНУ імені Івана Франка. 2017. 284 с.
3. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів: Ін-т українознавства. 1997. 440 с.

ЗАРУБІНА А.В.[1], ГЕЛЕВЕРА О.Ф.[2],
СЕМЕНЮК Л.Л.[3] (УКРАЇНА, КРОПИВНИЦЬКИЙ, КИЇВ)

ПРИРОДООХОРОННА ЦІННІСТЬ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ЧОРНИЙ ЛІС» (КІРОВОГРАДСЬКА ОБЛАСТЬ)

[1] Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, 25006, вул. Шевченка, 1, Кропивницький, Україна; a.v.zarubina@cuspu.edu.ua
[2] Центральноукраїнський національний технічний університет, 25000, просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна; heleveraof@kntu.kr.ua
[3] Київський національний університет технологій та дизайну, 01011, вул. Немировича-Данченка, 2, Київ, Україна; semeniuk.ll@knutd.edu.ua

Abstract. The paper characterizes the natural, scientific and historical-cultural value of the Chornyi Lis National Nature Park, established in Kirovohrad region, Ukraine, by a presidential decree of 11 August 2026 on an area of 13,710.2441 ha. Drawing on the 2002 scientific ecological-economic substantiation, the study describes the landscape, botanical, faunistic and historical-cultural significance of the Chornoliskyi and Dmytrivsko-Chutivskyi forest massifs one of the largest and southernmost broad-leaved forest massifs in Eastern Europe, with particular attention to relict and rare species included in the Red Data Book of Ukraine, the unique southernmost sphagnum bog in Ukraine, and archaeological heritage sites. The results substantiate the park's importance for the national ecological network and outline directions for further scientific study and territorial organization.

Кіровоградська область тривалий час залишалася єдиною областю України без жодного національного природного парку, а природно-заповідний фонд області становив лише 0,4 % її площі при середньому по Україні показнику 4,2 % [1]. Тут розташовані Чорноліський та Дмитрівсько-Чутівський ліси, одні з найбільших масивів широколистяних лісів на південній межі їх поширення у Східній Європі площею близько 13 тис. га. Метою роботи є охарактеризувати природоохоронну, наукову та історико-культурну цінність території парку «Чорний Ліс», створеного указом Президента України від 11.08.2026 № 719/2026 на площі 13710,2441 га [2].

Ландшафтна цінність території зумовлена значним ерозійним розчленуванням вододілу Інгулу та Інгульця (глибина балок до 100 м, схили до 25°). Деревостан сформований переважно дубом черешчатим з домішкою липи, ясена та граба. На території виявлено 7 видів судинних рослин Червоної книги України, зокрема реліктову бруслину карликову (Euonymus nana Bieb.) та в'язіль струнký, а також унікальне найпівденніше в Україні сфагнове болото на березі оз. Берестувате з бореальними видами рослин, не характерними для лісостепу [1].

Фауністична цінність підтверджується наявністю 114 із 155 видів хребетних тварин Червоної книги України (61 вид ссавців, 43 птахів, 4 плазунів), зокрема єдиних відомих в області місць гніздування могильника (Aquila heliaca) та балобана (Falco cherrug). Історико-культурну цінність надають скіфський курган «Лита могила» VII – початку VI ст. до н. е., городище чорноліської археологічної культури та пам'ятні місця гайдамацького й партизанського руху [1].

Необхідність охорони цієї території наукова спільнота обґрунтовувала ще з 2002 р. [1], проте природоохоронний статус найвищого рівня вона набула лише 11 серпня 2026 р. – указом Президента України № 719/2026 створено національний природний парк «Чорний Ліс» площею 13710,2441 га [2].

Створення НПП «Чорний Ліс» є важливим кроком для збереження унікального для лісостепової зони природного комплексу, що поєднує реліктові рослинні угруповання, рідкісні види флори і фауни глобального, загальнодержавного та регіонального значення, а також цінну історико-культурну спадщину. Подальших досліджень потребує функціональне зонування території в межах Проєкту організації території парку (2027-2028 рр.).

Список літератури:

1. Пархісенко, О.В., Гайдай, С.В., Медина, Т.В., Остапченко, Л.А., Гуцал, О.В., Маленков, Р.О., Олещенко, Н.В., Гуцал, Окс.В., Година, О.О. (2002). Наукове еколого-економічне обґрунтування створення НПП «Чорноліський». Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ДП «Центр екологічного моніторингу України».
2. Указ Президента України від 11.08.2026 № 719/2026 «Про створення національного природного парку "Чорний Ліс"». (2026). Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України. URL: https://www.me.gov.ua/News/Detail/c0c6abff-2dc3-4c62-b3cf-ad207748c0e7

MAJIDLI K. (AZERBAIJAN, BAKU)

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF SMALL HYDROPOWER DEVELOPMENT IN KARABAKH AND EASTERN ZANGEZUR

Azerbaijan University of Architecture and Construction,
Ayna Sultanova 5, Baku, Azerbaijan; kamileceferli@gmail.com

Abstract. This study evaluates the role of small hydropower in the sustainable development of the Karabakh and Eastern Zangezur economic regions of Azerbaijan. The assessment combines hydropower-development data with an analysis of environmental risks associated with diversion-type schemes on mountain rivers. Existing and recently commissioned facilities, installed capacities, electricity generation, natural-gas savings and potential CO_2 reductions are considered together with environmental-flow requirements, fish migration, water quality and basin-scale water demand. The results show that hydropower can strengthen regional energy supply and support lower-carbon development, but long-term sustainability depends on maintaining minimum environmental flows, avoiding ecologically sensitive areas, using fish passages and real-time monitoring, and coordinating operation at river-basin scale.

Hydropower is one of the principal renewable-energy resources available in the mountainous river systems of Azerbaijan. Karabakh and Eastern Zangezur are particularly important because the two regions contain a substantial share of the country's water resources and include rivers with favorable combinations of discharge and elevation difference. The Tartar, Hakari, Bargushad, Okhchuchay and their tributaries provide opportunities for both existing and future hydropower development. In the context of regional reconstruction and the creation of a green-energy zone, small hydropower plants can contribute to electricity supply, energy security and more diversified use of domestic renewable resources.

The development program has expanded rapidly. By the end of 2023, several small hydropower plants had been commissioned in Karabakh and Eastern Zangezur, including Chirag-1 (8.33 MW), Chirag-2 (3.6 MW), Gamishli (6.33 MW), Soyugbulaq (5.3 MW), Meydan (3.4 MW), Mishni and Alkhasli. Together with other facilities, regional installed hydropower capacity was reported at approximately 270 MW, with annual generation of about 492 million kWh. In 2024, 32 hydroelectric stations in the two regions were reported to have a combined capacity of 270 MW and to generate about 550 million kWh of green electricity. This output was associated with a saving of approximately 120 million m3 of natural gas and an avoidance of about 225,000 tonnes of CO_2 emissions. By mid-2025, the regional portfolio had increased further, with 38 plants reported as active or approaching operation and a combined capacity of about 322 MW.

These figures demonstrate the energy value of the region's river network, but installed capacity alone is not an adequate measure of sustainability. Small hydropower plants are often based on run-of-river or diversion schemes and therefore require less reservoir storage than large dams; however, they can still modify river hydrology. Water abstraction may reduce downstream discharge, alter temperature and dissolved-oxygen conditions, and affect the chemical characteristics of water. Where several diversion plants are located on the same river, cumulative abstraction during low-flow periods can create severe ecological pressure and, in extreme cases, temporarily dry individual river reaches. Such changes can reduce habitat quality for aquatic and riparian species and interrupt the migration and reproduction of fish.

Environmental management should therefore begin at the design stage. Each project should be based on seasonal-flow assessment and should define a minimum environmental-flow requirement that is maintained throughout operation. The existing condition of river reaches upstream and downstream of a proposed site should be assessed before the final layout is selected. Hydropower facilities should not be located in protected natural areas, and projects should minimize excavation, erosion and disturbance of riverbank vegetation. Construction runoff containing pollutants should be prevented from entering water bodies, while sediment and debris accumulated around barriers should be removed through appropriate technical measures.

Particular attention is required for biodiversity protection. Flow regimes should be adjusted to seasonal fish-spawning periods, and river fragmentation should be reduced through fish ladders, fish lifts or bypass channels. These measures are especially important for mountain rivers where relatively small changes in discharge can cause a large proportional reduction in available aquatic habitat. The cumulative effects of several plants should be evaluated at the scale of the whole basin rather than separately for each project. Such assessment should include environmental flows, irrigation and drinking-water demand, fisheries, ecological sensitivity, and the risk that a river reach may experience excessive water use under future low-flow conditions.

Small reservoirs and hydropower facilities may also serve combined water-management functions, but this benefit should not replace ecological safeguards. A minimum environmental flow must be defined for

each project and maintained throughout operation. During periods of reduced runoff, plant dispatch should shift to a regime that minimizes ecological damage. In addition, monitoring data should be used not only for reporting but for operational decision-making. If water temperature, dissolved oxygen or discharge moves outside established limits, turbine use can be reduced or additional water can be released. Such adaptive management links technical operation directly to observed river conditions.

Several practical mitigation priorities emerge from the environmental assessment. Project justification should consider water use and seasonal flows observed over a sufficiently long period, including the ecological condition of the river. Where a statistically significant risk of excessive water abstraction exists, multiple small hydropower plants should not be concentrated on the same river. Domestic, technical and irrigation-water needs must be considered together with energy production, and local communities should be included through consultation. These requirements are particularly relevant in Karabakh and Eastern Zangezur, where reconstruction of energy infrastructure is occurring simultaneously with restoration of water-supply, agricultural and ecological functions.

From an environmental-impact perspective, the most important distinction is between the direct operational benefits of hydropower and the local ecological pressures created by water regulation. Electricity production at hydropower plants does not involve direct fuel combustion, which allows part of thermal generation to be displaced. At the same time, construction and operation can affect river channels, bank stability, sediment movement and aquatic habitats. The assessment therefore requires a combined energy-environment approach in which generation benefits are evaluated together with hydrological alteration and ecosystem sensitivity rather than treated as separate questions.

Modern monitoring and adaptive management can improve the ecological performance of small hydropower. Newly constructed plants can use SCADA systems together with flow sensors to adjust turbine operation as river conditions change. During drought, generation can be reduced to preserve the required environmental flow; under flood-risk conditions, controlled releases can be coordinated with electricity production. Sensor networks for water temperature, dissolved oxygen and other parameters can provide real-time information, while automatic warning systems can trigger operational responses when ecological thresholds are exceeded. This approach is preferable to a fixed operating regime because climate change may alter seasonal runoff and increase uncertainty in future water availability.

The long-term role of hydropower in Karabakh and Eastern Zangezur should therefore be understood as part of integrated water and energy management. Small hydropower can support decentralized electricity supply, reduce the need for fossil-fuel-based generation and contribute to regional reconstruction. At the same time, the energy benefit must be balanced with irrigation, drinking-water supply, ecosystem conservation and local community needs. Priority should be given to run-of-river schemes with limited physical footprint, but their operation should be controlled by environmental-flow rules and basin-scale assessment.

In conclusion, the hydropower resources of Karabakh and Eastern Zangezur can make a significant contribution to Azerbaijan's renewable-energy development. The recent expansion of small hydropower demonstrates measurable benefits in electricity generation, natural-gas savings and potential CO_2 reduction. Nevertheless, environmental sustainability depends on project siting, maintenance of minimum flows, protection of fish migration routes, monitoring of water quality and coordinated basin management. Combining hydropower expansion with adaptive operation and environmental safeguards provides a more balanced pathway for using the region's river energy resources while maintaining the ecological functions on which long-term regional development depends.

References

1. Agency for Renewable Energy of Azerbaijan. (2015). Strategic environmental assessment for renewable energy projects. Baku, Azerbaijan.
3. Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan. (2023). Azerbaijan's renewable energy strategy 2023-2030. Baku, Azerbaijan.
4. Majidli, K. A. (2025). Environmental impact of the use of hydropower potential and its role for sustainable development in Azerbaijan. University and Society, 17, e5627.
5. Majidli, K. A., Mammadov, A. S., & Aliyev, F. G. (2025). Integrated evaluation of river water quality, aquatic ecosystem health, and renewable energy potential. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, 17(4), 472-481.

САБАДАШ В.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

РЕГІОНАЛЬНЕ ГЕОМОРФОЛОГІЧНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ТА ГІС ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; vira.v.sabadash@lpnu.ua

Abstract. Sustainable land use planning requires reliable information on the natural characteristics of a territory. This is particularly important in regions experiencing substantial land-use change and degradation of natural resources. An effective approach is to integrate geomorphological mapping with Earth observation data and geographic information systems (GIS). This study examines an approach to regional geomorphological mapping based on remote sensing data and GIS. The analysis focuses on landforms, elevation, slope gradients, geological structure, soils, and land cover types. This approach enables the delineation of distinct natural units and the characterization of their main properties. At the regional scale, the major landforms and land cover types were mapped. At a more detailed scale, relationships among landforms, soils, vegetation, and land use were identified. The results provide a useful basis for land evaluation, monitoring land-cover changes, and developing recommendations for spatial and land-use planning.

Раціональне планування землекористування потребує інформації про природні ресурси території. Важливо знати не тільки площу земель, але й особливості їх рельєфу, ґрунтів, рослинності та сучасного використання. Проблема особливо актуальна для територій, де швидко змінюється землекористування. Вирубування лісів, розширення сільськогосподарських земель та інші види господарської діяльності можуть призводити до деградації природних ресурсів. У таких умовах необхідні методи, які дають змогу швидко отримувати просторову інформацію про великі території. Саме таку проблему розглядають автори вихідного дослідження. Традиційне польове обстеження великих територій потребує значного часу та ресурсів. Тому важливу роль відіграють дистанційне зондування Землі та географічні інформаційні системи. Вони дають змогу працювати з великими масивами просторових даних та поєднувати інформацію з різних джерел. Особливе значення має геоморфологічне картографування. Форми рельєфу можна використовувати як просторові одиниці для комплексного аналізу території. В межах однієї форми рельєфу часто спостерігаються подібні умови для ґрунтів, рослинності та землекористування. Це дає можливість використовувати рельєф як основу для подальшого аналізу. Основою запропонованого підходу є геоморфологічне картографування. Територія поділяється на окремі одиниці відповідно до особливостей рельєфу. Для цього використовуються топографічні карти, геологічні карти, цифрові моделі рельєфу, аерофотознімки та супутникові зображення. Важливу роль відіграє цифрова модель рельєфу. На її основі можна визначити висоту, амплітуду рельєфу та крутість схилів. Ці показники використовуються для розмежування основних форм рельєфу. У дослідженні було використано два рівні картографування. Перший рівень відповідав масштабу 1:250 000. Він використовувався для загальної характеристики території. Другий рівень відповідав масштабу 1:50 000. Він давав можливість виконати більш детальний аналіз окремих територій. На першому рівні основними критеріями були амплітуда рельєфу та крутість схилів. Також враховувалася літологія. На цьому етапі основна увага приділялася зовнішнім характеристикам рельєфу. Територію поділили на дві великі групи. До першої належали форми з добре вираженим рельєфом. Серед них виділялися дуже низькі, низькі та високі пагорби, а також гірські хребти. До другої групи належали долини, рівнини, плато та передгір'я. Для аналізу земного покриву використовувалися супутникові зображення Landsat. На їх основі визначалися основні категорії покриву. До них належали тропічні та помірні ліси, чагарники і трав'яна рослинність, сільськогосподарські землі та території, змінені діяльністю людини. Далі отримані дані переносилися до ГІС. Це дозволяло накладати різні тематичні шари один на одного. Таким способом можна було порівняти форми рельєфу із земним покривом, ґрунтами, висотою та іншими характеристиками території. На детальному рівні використовувалися аерофотознімки. Вони давали можливість точніше визначити окремі форми рельєфу та типи земного покриву. Частина результатів перевірялася безпосередньо в польових умовах. Результати регіонального картографування показали просторовий розподіл основних форм рельєфу та типів земного покриву. Це дало можливість сформувати загальну картину природних ресурсів території. Найбільшу частину досліджуваної території займали гірські хребти. Їх частка становила 27,1 %. Високі пагорби займали 16,6 %, дуже низькі пагорби — 17,9 %, а низькі пагорби — 15,0 %. Частка передгір'їв становила 8,0 %, рівнин — 7,5 %, долин — 5,3 %, а плато

— близько 1,0 %. Отримані результати показали, що різні форми рельєфу мають різні типи земного покриву. На рівнинах переважали сільськогосподарські землі. У гірських районах значну частину території займали ліси, чагарники та трав'яна рослинність. Особливу увагу автори приділили вирубуванню лісів. Аналіз показав, що значна частина вирубування відбувалася на схилах та в гірських районах. Такі території мають обмежені можливості для інших видів використання. Тому отримана інформація може бути використана для визначення територій, де необхідні заходи з охорони лісів. Більш детальне картографування показало зв'язки між формами рельєфу, ґрунтами та земним покривом. Наприклад, на окремих формах рельєфу поєднувалися певні типи ґрунтів із сільськогосподарськими угіддями, трав'яною рослинністю або лісами. Вона може використовуватися як основа для подальшого оцінювання земель. Однією з основних переваг запропонованого підходу є можливість об'єднання різних видів інформації. У ГІС можна одночасно аналізувати рельєф, ґрунти, рослинність, земний покрив та інші характеристики території. Це особливо важливо для планування землекористування. Рельєф впливає на можливості використання земель. Наприклад, круті схили можуть мати більші обмеження для сільського господарства. Водночас вони можуть мати важливе значення для збереження лісів та природних екосистем. Поєднання геоморфологічної інформації з даними про земний покрив дозволяє виявити території, де фактичне землекористування не відповідає природним умовам. У дослідженні саме таким способом були виявлені території з потенційно конфліктним землекористуванням. Масштаб 1:50 000 вважають придатним для екологічного планування на рівні більшості територіальних громад України. Отримані геоморфологічні дані можуть поєднуватися із соціально-економічною інформацією. Це створює основу для розроблення практичних рекомендацій щодо використання території. Ще однією перевагою ГІС є можливість регулярно оновлювати інформацію про земний покрив. Форми рельєфу залишаються відносно стабільними просторовими одиницями, а земний покрив може змінюватися. Тому повторний аналіз супутникових даних дозволяє відстежувати зміни території в часі. Розглянутий підхід показує, що дистанційне зондування та ГІС можуть значно спростити аналіз великих територій. Геоморфологічне картографування створює просторову основу для подальшого аналізу. Форми рельєфу можна використовувати як базові одиниці для поєднання інформації про ґрунти, рослинність та землекористування. Важливою перевагою є можливість працювати на різних масштабах. Загальне картографування дозволяє швидко оцінити територію. Більш детальне картографування можна використовувати для окремих районів, де потрібна додаткова інформація. Запропонований підхід також має практичне значення. Він дозволяє визначати території з високим рівнем зміни земного покриву. Він також допомагає виявляти можливі конфлікти між природними умовами та фактичним землекористуванням. Водночас результати не слід розглядати як повну оцінку придатності земель. Для такого аналізу необхідні додаткові дані. Зокрема, можуть бути потрібні соціально-економічні показники, інформація про інфраструктуру та конкретні цілі землекористування. Самі автори зазначають, що геоморфологічне картографування має поєднуватися з відповідними соціально-економічними даними під час формування рекомендацій щодо планування територій.

Висновки

Дистанційне зондування та ГІС є ефективними інструментами для регіонального геоморфологічного картографування. Їх використання дозволяє швидко аналізувати великі території. Основою аналізу можуть бути форми рельєфу, цифрові моделі рельєфу, геологічні та ґрунтові карти, а також супутникові зображення. Поєднання цих даних у ГІС дає можливість отримати комплексну характеристику території. Геоморфологічні одиниці можуть використовуватися як основа для аналізу земного покриву та землекористування. Це дозволяє виявляти території зі значними змінами природного середовища. Результати дослідження показали, що такий підхід може використовуватися для оцінювання розподілу лісів, сільськогосподарських земель, чагарників та інших типів земного покриву. Він також дозволяє визначати території, де землекористування може створювати екологічні проблеми.

Список літератури:

1. Sabadash V., Sereda A. Physicochemical Characteristics and Hydrochemical Typology of Waters in the Yavoriv National Nature Park. *VI International Scientific-Technical Conference "Water Supply and Wastewater Disposal: Designing, Construction, Operation and Monitoring"*, Lviv, Ukraine, 15–17 October 2025. Switzerland, 2026. P. 93–107. URL: https://doi.org/10.4028/p-wkfi9u.
2. Senanayake I. P., Hancock G. R., Welivitiya W. D. D. P. Soil depth and catchment geomorphology: A field, vegetation and GIS based assessment. *Geoderma Regional*. 2024. Vol. 38. P. e00824. URL: https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00824.

ОПАНОВИЧ Ю.Ю., ФЕДОРИШИН О.М., ОЛІЙНИК Л.П. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОМАТЕРІАЛИ У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; IXXT.dept@lpnu.ua

Abstract. The study focuses on environmentally safe biotechnologies and biomaterials aimed at addressing sustainable development and environmental protection challenges. The research considers biodegradable starch-based films as an alternative to synthetic plastics, microbial degradation of plastic materials, and highly sensitive methods for wastewater analysis. The potential of plant-microbial fuel cell systems for clean urban energy is also considered. Particular attention is paid to heavy metal detoxification and the interaction of metal ions with natural humic compounds. The proposed approaches contribute to circular economy, resource conservation, pollution reduction, and sustainable environmental management.

Реалізація концепції сталого розвитку та засад Європейського зеленого курсу вимагає впровадження інноваційних біотехнологічних рішень для захисту навколишнього середовища, зменшення техногенного навантаження на екосистеми та переходу до відновлюваної енергетики [1]. Особливої актуальності набувають наукові дослідження, спрямовані на розробку біодеградованих полімерних матеріалів [2], вивчення здатності мікроорганізмів утилізувати пластик [3, 4], а також впровадження високочутливих методів екологічного моніторингу [5].

Обґрунтування та розробка екологічно безпечних біотехнологічних методів і матеріалів для зменшення пластикового забруднення, оптимізації аналізу стічних вод, детоксикації важких металів та розвитку чистої міської енергетики [1–6].

Розраховано потенціал оптимізованих рослинно-мікробних паливних елементів (PMFC) для дахового озеленення як джерела чистої енергії в урбанізованому середовищі [1]. Розроблено та охарактеризовано біодеградовані плівки на основі крохмалю, які слугують екологічною альтернативою синтетичним пластикам [2]. Проведено аналіз сучасних методів оцінки біодеградабельності полімерів [3] та досліджено здатність ґрунтових мікробіологічних культур деструктувати крохмалевмісні матеріали [4]. Для комплексного контролю стану довкілля систематизовано високочутливі аналітичні методи контролю стічних вод [5], а також враховано особливості комплексоутворення іонів металів із природними гуміновими сполуками [6].

Запропоновані біотехнологічні підходи та біоматеріали відповідають принципам циркулярної економіки, ресурсозбереження та збалансованого природокористування. Отримані результати створюють науково-практичне підґрунтя для зменшення пластикового забруднення, ефективного очищення та моніторингу водних ресурсів і розвитку локальної біоенергетики [1–6].

Список літератури:

1. Rusyn I., Fedoryshyn O. Optimizing rooftop PMFC systems for clean urban energy. *International Journal of Energy for a Clean Environment*. 2026. Vol. 27, iss. 4. P. 91–104. URL: https://doi.org/10.1615/interjenercleanenv.2026060319
2. Fedoryshyn O., Chervetsova V., Yaremkevych O., Skril Y., Khomyak S., Kohut A. Physico-chemical and microbiological characterization of starch-based biodegradable films. *Chemistry & Chemical Technology*. 2024. Vol. 18, № 3. P. 417–425. URL: https://doi.org/10.23939/chcht18.03.417
3. Скріль Ю. А., Федоришин О. М. Методи дослідження біодеградабельності пластику. *81 СНТК. Підсекція ТБСФБ* : тези доповідей (м. Львів, 25 жовт. 2023 р.). Львів, 2023. С. 8–9.
4. Skril Y. A., Fedoryshyn O. M. Analysis of capability to decompose biodegradable plastics based on starch by soil microbial cultures. *Належні рішення для прогалин у фармації* : зб. конф. (м. Львів, 23–24 листоп. 2023 р.). Львів, 2023. С. 167–168.
5. Скріль Ю. А., Федоришин О. М. Аналітичний огляд високочутливих методів аналізу стічних вод. *Якість води* : зб. матеріалів ІІ Міжнар. конф. (м. Тернопіль, 24–25 трав. 2023 р.). Тернопіль, 2023. С. 101–102.
6. Oliynyk L., Popadiuk I., Fedoryshyn O., Yaremkevych O., Kohut A. Characterization and interaction of humic acids with metal ions as a function of solution pH. *Chemistry & Chemical Technology*. 2025. Vol. 19, № 2. P. 214–220. URL: https://doi.org/10.23939/chcht19.02.214

РИЛЬСЬКИЙ О.Ф.[1], ДОМБРОВСЬКИЙ К.О.[1], ТЕРТИЧНА О.В.[2] (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ, КИЇВ)

БІОРІЗНОМАНІТТЯ УГРУПОВАНЬ ЕПІФІТОНУ МАЛОЇ РІЧКИ МОКРА В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

[1]Запорізький національний університет, 69011, вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна; znu@znu.edu.ua
[2]Інститут агроекології і природокористування НААН, 03143, вул. Метрологічна, 12, Київ, Україна; agroecologynaan@gmail.com

Abstract. Communities of aquatic organisms inhabiting the surfaces of higher aquatic plants play an important role in aquatic ecosystems. Epiphyton invertebrates are characterized by a considerable diversity of ecological groups and serve as an important factor in the self-purification processes of aquatic ecosystems. Therefore, studying these communities under conditions of anthropogenic pollution in small rivers is an important and timely task.

На ділянках малої річки Мокра угруповання епіфітону досліджувались на різних видах вищих водних рослин. Вивчався епіфітон очерету звичайного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel), занікелії болотної (*Zannichellia palustris* L.), зеленої водорості – хари звичайної (*Chara vulgaris* L.) та нитчастої зеленої макроводорості – ульви кишечниці (*Ulva intestinalis* L.).

Угруповання епіфітону малої річки Мокра у першій декаді червня складалось з 11 видів, які відносяться до 3 екологічних груп. Найпростіші організми епіфітону були представлені одним таксоном, а багатоклітинні організми – 10 видами.

Найбільшої кількістю видів було представлено угруповання макроепіфітону (7 таксонів) до якого відносяться організми 4 систематичних груп. Олігохети, личинки хірономід та черевоногі молюски були представлені 2 видами, відповідно, личинки одноденок – одним таксоном. Мікроепіфітон був представлений гіллястовусими ракоподібними (2 види) та нематодами (1 таксон).

Найбільшу кількість видів організмів епіфітону було виявлено на третій ділянці водотоку на водній рослинності – занікелії болотній, а найменше видове різноманіття було зафіксовано на озероподібній ділянці річки (перший пункт спостереження) на кореневій системі очерету звичайного.

На третій ділянці малої річки Мокра щільність організмів угруповання епіфітону була найвищою і складала 1527 екз/г, а біомаса становила 25,42 мг/г. Угруповання епіфітону другої ділянки водотоку характеризувалось високими показниками біомаси (319,5 мг/г) за рахунок розвитку гіллястовусих ракоподібних *Simocephalus vetulus* та черевоногих молюсків – *Costatella integra*. Щільність угруповання епіфітону на цій ділянці річки становила 116 екз/г. Щільність та біомаса організмів епіфітону першої та четвертої ділянок р. Мокра були не високими та складали 7 екз/г і 1,4 мг/г й 6 екз/г і 4,51 мг/г, відповідно.

Впродовж третьої декади червня в угрупованні епіфітону малої річки Мокра було виявлено 16 видів водних безхребетних, які належать до 9 таксонів вищого порядку.

Серед виявлених таксономічних груп домінували за видовим багатством коловертки (4 види), трьома таксонами були представлені інфузорії. Крім цього, по два види зареєстровано у двох таксономічних груп – надряду Cladocera та родини Chironomidae. П’ять таксонів (Gastropoda, Nematoda, Ostracoda, Copepoda, Hirudinea) представлено лише одним видом.

Серед досліджених пунктів спостереження (станцій) найменшою кількістю видів (3) вирізнялась станція 4. На станції 1 було виявлено 5 видів, а найбільшу кількість видів зареєстровано на станції 2 (8).

Угруповання епіфітону хари звичайної (перший пункт спостереження) характеризувалось високими показниками щільності 1349 екз/г при біомасі 77,51 мг/г. Висока щільність епіфітону цього угруповання була обумовлена значним розвитком коловерток, щільність яких становила 71% від загальної щільності епіфітону.

Щільність та біомаса організмів епіфітону ульви кишечниці (другий пункт спостереження) складали 801 екз/г та 295,31 мг/г, відповідно. На цій ділянці водотоку за біомасою домінували дві таксономічні групи – гіллястовусі ракоподібні та черевоногі молюски, які разом складали 95% від загальної біомаси угруповання.

Угруповання епіфітону занікелії болотної (четвертий пункт спостереження) характеризувалось високими показниками біомаси 2594,0 мг/г при низькій цільності 57 екз/г. За біомасою в угрупованні домінували виключно п’явки, які складали 96% від загальної біомаси епіфітону.

Таким чином, таксономічний склад і кількісний розвиток безхребетних епіфітону досліджених видів макрофітів значним чином різнився на досліджених ділянках малої річки Мокра, причини цього явища потребують подальших досліджень.

SNIZHKO S.[1,3], DIDOVETS I.[2], HATTERMANN F.[2],
BRONSTERT A[3]. (UKRAINE, KYIV; GERMANY, POTSDAM)

CHANGES IN RIVER DISCHARGE IN THE SOUTHWESTERN BLACK SEA REGION DUE TO CLIMATE CHANGE: PROJECTED SCENARIOS THROUGH THE END OF THE 21ST CENTURY

[1]Department of Meteorology and Climatology,
Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)
64/13, Volodymyrska Street, City of Kyiv, Ukraine, 01601
[2]Research Department II: Climate Resilience,
Potsdam Institute for Climate Impact Research (Potsdam, Germany)
Telegrafenberg A 31, 14473 Potsdam Süd, Germany
[3]Chair of Hydrology and Climatology, University of Potsdam (Potsdam, Germany)
Campus Golm, Haus 1, Karl-Liebknecht-Str. 24-25, 14476 Potsdam-Golm, Germany
snizhko@knu.ua, didovets@pik-potsdam.de,
hattermann@pik-potsdam.de, axel.bronstert@uni-potsdam.de

Abstract. Changes in the water discharge of the major rivers of the Southwestern Black Sea region were studied for two future periods (2041-2070 and 2071-2100) under the SSP1-2.6 and SSP5-8.5 scenarios, as simulated by the WaterGAP2 model driven by four bias-corrected GCMs from ISIMIP2b.

The use of two contrasting scenarios—"optimistic" (SSP1-2.6) and "pessimistic" (SSP5-8.5)—allows us to determine the most optimal range of water resource availability, given the uncertainty surrounding many future climatic and economic development factors.

On June 6, 2023, the Russian occupation forces in Ukraine destroyed the Kakhovka Reservoir on the Dnieper River, which was the main source of fresh water for the agricultural sector, urban water supply and industry in Southern Ukraine. This territory of the country in the arid zone is characterized by a very low water resource availability index (IWRA) from 140 (Odesa region) to 450 (Mykolaiv region) m3 per capita per year (water stress occurs when IWRA less than 1700 m3 per capita per year (Falkenmark and Lindh, 1976). Only the accumulation of the transit water flow of the Dnieper River in the Kakhovka Reservoir could meet the water needs of all water users. The extent of water resource losses in this region has already been studied and assessed (Snizhko et al.,2024; Khoriev et al.,2026). The next task is to assess the availability of water resources for the future development of agriculture, municipal water supply, and other sectors of the economy.

What alternative water sources can be used to meet these needs? Will the region's water sector be able to ensure the sustainable development of southern Ukraine's economy in the face of climate change?

Potential sources of water supply in this region are Dnipro river (at present, only a limited amount of river water can be used, as the reservoir has been destroyed), South Bug river (source of water for Mykolaiv city (500 thousand inhabitants) and Mykolaiv region), Dnister river (the main and only source of water supply for the city of Odessa (more than 1 million inhabitants), Danube river.

In order to plan the development of the water management sector in southern Ukraine and attract investment for the implementation of modern technologies for the use of water resources, it is necessary to take into account not only the current state of water resource availability but also the characteristics of their temporal variability, with due consideration of climatic factors. An analysis of the time series of observations of the average annual air temperature in Kherson, Mykolaiv, and Odesa for the period from 1901 to 2025 (125 years) revealed a steady upward trend in temperature, with a sharp acceleration in the 21st century. Over the past 125 years, the regional average temperature has risen at a rate of +0.155 °C per decade and, compared to the baseline period of 1900-1930, increased by 2.43 °C during 1991-2020. The climate norm for the average annual temperature for 1991-2020 was 10.7 °C. The maximum values of the average annual temperature in certain years of this climate period have already reached 12.88 °C. Despite general global warming, no catastrophic century-long decrease or increase in the total annual precipitation (normal range: 450-480 mm) has been observed. However, beginning in 2015-2018, the region entered a phase of reduced precipitation, which is expected to intensify through 2025.

In a study of air temperature projections through the end of the 21st century for southern Ukraine, two "optimistic" climate change scenarios - SSP1-1.9 and SSP1-2. 6, one moderate scenario (SSP2-4.5), and two "pessimistic" and extreme scenarios (SSP3-7.0 and SSP5-8.5). The optimistic scenarios show air temperatures stabilizing or rising only slightly to 12.5 °C-13 °C by the end of the century, after 2050-2060. The moderate

SSP2-4.5 scenario shows a steady rise in air temperature, reaching about 13.5 °C by 2050 and rising to 14 °C by 2100. The "pessimistic" SSP3-7.0 scenario shows a steady rise in temperatures to 15.5 °C by 2100, while the high-emissions SSP5-8.5 scenario shows an even more critical temperature increase: by 2050, the temperature will reach 14 °C, and by 2100 - 17 °C to 17.5 °C. It is clear that the region's water balance is closely dependent on climatic factors and will change in response to climate change.

To assess the availability of water resources for the region's future economic development, we used data from five climate models in the CMIP6 ensemble (gfdl-esm4, ipsl-cm6a-lr, mpi-esm1-2-hr, mri-esm2-0, ukesm1-0-ll), we simulated river runoff for the two "extreme" scenarios, SSP1-2.6 and SSP5-8.5, for the middle of the century (2041-2070) and the end of the century (2071-2100).

Using two extreme scenarios—the "optimistic" (SSP1-2.6) and the "pessimistic" (SSP5-8.5)—allows us to determine the optimal range of water resource availability, taking into account the uncertainty surrounding many future climate and economic development factors. We performed calculations using the WaterGAP2 model under these scenarios for two future periods (2041–2070 and 2071–2100). We used data from four global climate models (GCMs) from the ISIMIP2b project, corrected for systematic errors. First, we analyzed changes in river flow norms (long-term average annual flow). Based on this analysis, the following expected changes in flow were identified: for the Dnieper—a steady decline throughout the entire period (from -4.05% to -14.28%); for the Southern Bug—a slight increase in 2041–2070 (+2.95%...+3.42%), followed by a decrease by the end of the century (to -13.86%); for the Ingul—an initial increase (+4.06%... +5.42%), followed by a sharp decline under the SSP5-8.5 scenario (to -13.37%); for the Dniester—a steady decrease in flow down to -22.70%; and for the Danube—a consistent increase throughout all periods (from +2.80% to +10.70%). Overall, by the end of the 21st century, a downward trend in runoff will prevail for most rivers (especially under the SSP5-8.5 scenario, which anticipates severe climatic conditions), while the Danube remains the only basin with a steady increase in runoff. Under both scenarios, the average annual flow of the Danube River in the delta shows a positive trend (+2.8%...+10.7%). This is because the significant increase in winter-spring runoff in the Upper and Middle Danube exceeds the deficit in summer-fall low-flow runoff observed in the Lower Danube.

An analysis of forecasts for the intra-annual distribution of runoff indicates a shift in the seasonal peak and a general trend toward a more pronounced summer-fall period of low runoff. Under the moderate SSP1-2.6 scenario, during the periods 2041–2070 and 2071–2100, an increase in runoff is observed during the winter months (specifically, on the Southern Bug by +29.45%…+33.48%, on the Ingul—up to +40%, as well as on the Dniester and the Danube) and a moderate decrease during the summer-fall period of low runoff (on the Dnieper—down to -18.6%, and on the Dniester—down to -17.9%).

At the same time, the SSP5-8.5 scenario predicts a possible increase in winter runoff (on the Southern Bug, Ingul, Dniester, and Danube due to snowmelt). The most critical situation for the region's water sector is expected at the end of the century (2071–2100). Water discharge may decrease critically on the Southern Bug (by up to -47.83% in November), the Ingul (by up to -43.4% in July), the Dnieper (by up to -24.15% in May), and the Dniester (by up to -33.8% in November). Among the region's rivers, the smallest decrease in runoff (by -7.2% during the summer-fall low-water period) is expected only for the Danube.

Acknowledgments. This study was conducted with the support of a grant from the German Academic Exchange Service (No. 57770809-2026), for which we express our sincere gratitude.

References

1. Falkenmark M., Lindh G. (1976). Water for a Starving World. Routledge, New York.
2. Khoriev, M., Karamushka, V., Huliaieva, O., Kuns B. (2026). Assessment of water needs in the lower Dnipro sub-basin following the destruction of the Kakhovka reservoir. Applied water science.Vol.16.4. https://DOI10.1007/s13201-026-02814-0
3. Snizhko, S., Didovets, I., Bronstert, A. (2024). Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. Water Security. 23. https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182

ЗАЛІЗНЯК Я.І. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ

Уманський національний університет, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20301. office@unu.edu.ua

Abstract. River-basin monitoring increasingly relies on spatial data that can describe both water bodies and the surrounding catchment area. Remote sensing provides repeated observations of large territories, while geographic information systems help combine satellite imagery with hydrographic, land-use and infrastructure data. Their joint use makes it possible to trace changes in water surfaces, identify areas of increased anthropogenic pressure and compare environmental conditions over time. Such an approach supports basin-scale assessment and provides a practical information basis for planning water-protection measures and improving the management of surface-water resources.

Геоінформаційні технології вже тривалий час використовують у географічних та екологічних дослідженнях, однак у сфері водних ресурсів їх значення особливо зростає тоді, коли потрібно працювати не з окремою точкою спостереження, а з цілим річковим басейном. У такому випадку важливо бачити взаємозв'язки між руслом, заплавою, прилеглими угіддями, населеними пунктами та іншими об'єктами, що впливають на стан води. ГІС дають змогу об'єднати ці відомості в єдиному просторовому середовищі, зіставляти їх між собою та простежувати зміни, які відбуваються на різних ділянках басейну.

Для моніторингу річкових ресурсів особливу цінність має поєднання геоінформаційного аналізу з даними дистанційного зондування Землі. Такий підхід розширює можливості звичайних польових спостережень, оскільки дозволяє одночасно охоплювати значні території та регулярно одержувати інформацію про стан водних і прибережних об'єктів. На основі супутникових матеріалів можна простежувати зміни площі водного дзеркала, стан прибережної рослинності, особливості землекористування поблизу водотоків, а також фіксувати ділянки, де можливий підвищений антропогенний вплив. Для басейнових досліджень це важливо ще й тому, що зміни на водозборі нерідко просторово віддалені від ділянки річки, де проявляються їх наслідки.

Фізичною основою дистанційного спостереження є різниця у відбитті й поглинанні електромагнітного випромінювання різними поверхнями. Вода, рослинність, відкритий ґрунт і забудовані території мають неоднакові спектральні характеристики, тому на багатоспектральних знімках вони відображаються по-різному. Для водних об'єктів це дає можливість оцінювати не лише їх просторове положення, а й окремі ознаки екологічного стану. За певними спектральними діапазонами аналізують каламутність, вміст завислих речовин, прояви «цвітіння» води, зміни берегової смуги та інші показники, що можуть свідчити про трансформацію водної екосистеми.

Практична цінність супутникової інформації зростає після її опрацювання у ГІС. Сам по собі знімок дає уявлення про стан території на певний момент, але геоінформаційне середовище дозволяє зіставити його з іншими шарами: гідрографічною мережею, межами землекористування, дорожньою та виробничою інфраструктурою, населеними пунктами. У результаті дослідник отримує не просто зображення, а систему просторово пов'язаних даних. Це важливо для пошуку ділянок, де погіршення стану води може бути пов'язане з конкретним видом господарського навантаження, а також для подальшого порівняння таких ділянок у межах одного басейну.

Для цих завдань використовують матеріали супутникових систем Sentinel і Landsat. Їх мультиспектральні дані придатні для оцінювання поверхневої температури води, оптичних властивостей, каламутності, вмісту завислих речовин та просторових проявів підвищеної концентрації хлорофілу. Порівняння знімків, отриманих у різний час, дає змогу простежити не лише наявність певного явища, а й його динаміку. Наприклад, можна побачити, як змінюється площа ділянки з ознаками «цвітіння» води або як упродовж певного періоду трансформується прибережна зона. Важливим є і те, що різні спектральні канали можна аналізувати не окремо, а у вигляді спеціальних індексів. Це спрощує виділення водної поверхні, ділянок зі зміненими оптичними властивостями та зон, які помітно відрізняються від сусідніх територій. Саме повторюваність спостережень робить такі дані корисними для просторово-часового аналізу.

Окремий напрям просторового моніторингу пов'язаний з виявленням можливих джерел забруднення. У ГІС можна поєднати інформацію про якість поверхневих вод із розміщенням промислових об'єктів, комунальної інфраструктури, тваринницьких комплексів або

сільськогосподарських угідь. Таке зіставлення допомагає відокремити локальні точкові джерела впливу від розосередженого надходження речовин із великих площ. Для річкових басейнів це має особливе значення, адже забруднення може формуватися далеко від місця, де його наслідки вже помітні у водотоці. Просторові карти в такому разі полегшують визначення ділянок, які потребують детальнішого аналізу.

Не менш важливим є просторово-часовий аналіз. Якщо дані збираються повторно, з'являється можливість порівнювати окремі періоди та відстежувати напрям поширення змін уздовж гідрографічної мережі. На цій основі формують карти розподілу показників, виділяють ділянки з різним рівнем навантаження та визначають території, які потребують детальнішого наземного обстеження. За серією таких карт легше простежити, де зміни мають локальний характер, а де вони поширюються вздовж водотоку або охоплюють більшу частину басейну. Окремо можна порівнювати прибережні смуги, ділянки біля населених пунктів і території, що межують із сільськогосподарськими угіддями. Таким чином, дистанційні методи не обмежуються фіксацією факту зміни стану водного об'єкта, а стають частиною системи подальшого аналізу причин і просторових наслідків цієї зміни.

Під час аналізу річкової мережі корисними є карти просторових градієнтів показників якості води. Вони дають змогу простежити, як змінюються значення вздовж течії, де формується зона впливу і де її інтенсивність зменшується. У поєднанні з шарами землекористування та потенційних джерел забруднення такі карти допомагають точніше виділяти ділянки, які потребують подальшого спостереження.

Басейновий принцип робить такий підхід особливо доцільним. Стан річки залежить не лише від процесів у руслі, а й від того, що відбувається на водозборі. Зміни структури землекористування, стан прибережних смуг, господарське освоєння території та інші чинники можуть проявлятися у водній системі через певний час і на значній відстані від джерела впливу. Просторове представлення цих зв'язків допомагає оцінювати басейн як єдину систему, а не як набір окремих пунктів спостереження. Саме тому ГІС зручні для узагальнення результатів, отриманих із різних джерел і в різні строки.

Узагальнення даних ДЗЗ і ГІС створює інформаційну основу для екологічної оцінки та планування водоохоронних заходів. Сформовані карти й просторові бази даних можуть використовуватися для виділення проблемних ділянок, уточнення меж територій спостереження, порівняння стану водних об'єктів у різні періоди та обґрунтування управлінських рішень. Важливо й те, що такі матеріали можна доповнювати новими даними в міру їх надходження. Це дає можливість підтримувати актуальність інформації про річковий басейн і не обмежувати оцінку одноразовим обстеженням.

Отже, сучасний просторовий моніторинг водних ресурсів доцільно розглядати як поєднання кількох взаємодоповнювальних методів. Дистанційне зондування забезпечує територіальне охоплення і повторюваність спостережень, а ГІС — упорядкування, зіставлення та аналіз отриманих даних у межах річкового басейну. Разом ці інструменти дозволяють виявляти просторові зміни, оцінювати антропогенний вплив і формувати цілісніше уявлення про стан водних екосистем. Така інтеграція створює практичне підґрунтя для обґрунтованого управління водними ресурсами, планування водоохоронних заходів і збереження аквальних та прибережних екосистем.

Список літератури:

1. Дистанційні методи та ГІС у природокористуванні: Опорний конспект лекцій для аспірантів спеціальності 103 «Науки про Землю». (2016). Уманський національний університет садівництва. 87 с.
2. Кавац В. В. Моніторинг водозахисних природоохоронних смуг за даними дистанційного зондування : тези доповіді. III науково-практична конференція «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи». Київ, 2019. С. 64–66.
3. Лялько В. І., Попов М. О. (ред.). Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. Київ : Наукова думка, 2006. 357 с.
4. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики / за ред. О. О. Світличного. Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. 295 с.
5. Шевчук С. А. Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях стану водних і земельних екосистем. Сучасні технології гідротехнічного і водогосподарського будівництва для підвищення продуктивності зрошуваного гектара : матеріали наук.-практ. конф. 2018. С. 4–7.

КОНОВАЛОВ А.О., ПАВЛЮХ Л.І. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У СТАЦІОНАРНИХ СИСТЕМАХ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Національний університет «Київський авіаційний інститут», просп. Любомира Гузара, 1, 03058, Київ, Україна, 9029317@stud.kai.edu.ua

Abstract. The environmental feasibility of reusing electric-vehicle traction batteries after the automotive stage in stationary energy storage systems is considered. Two functionally equivalent routes are compared: direct recycling followed by the use of a new storage system, and diagnostics followed by reuse and final recycling. The assessment should account for technical suitability, residual capacity, duration and energy throughput of the second-use stage, refurbishment impacts, energy losses, electricity mix and avoided production of new storage capacity. Reuse is environmentally justified only when it provides the required storage function with a lower life-cycle impact.

Зростання парку електромобілів формує потік тягових акумуляторних батарей, які завершують автомобільний етап експлуатації, але можуть зберігати придатність до інших функцій. У науковій літературі залишкова ємність на рівні 70–80 % початкової часто використовується як орієнтир завершення автомобільної експлуатації, однак такий поріг не є універсальним. Рішення щодо подальшого використання має ґрунтуватися на фактичному технічному стані батареї та вимогах конкретної стаціонарної системи [2].

Метою роботи є обґрунтування умов екологічної доцільності повторного використання тягових акумуляторних батарей електромобілів у стаціонарних системах накопичення енергії порівняно з їх безпосереднім переробленням.

Для коректного порівняння необхідно розглядати функціонально еквівалентні маршрути. Перший маршрут передбачає перероблення батареї після завершення автомобільної експлуатації та використання нової стаціонарної системи для забезпечення потрібної функції накопичення енергії. Другий включає діагностику використаної батареї, її підготовку до стаціонарного застосування, повторне використання та подальше кінцеве перероблення. Порівняння доцільно виконувати за однакової корисної функції — накопичення та віддавання визначеного обсягу електроенергії протягом заданого періоду.

Межі такого порівняння мають охоплювати не лише стадію експлуатації, а й операції, необхідні для переходу батареї до нового призначення: транспортування, огляд, діагностику, сортування модулів, адаптацію системи керування та теплового режиму. Для обох маршрутів кінцеве перероблення повинно залишатися в межах оцінки, оскільки повторне використання лише відтерміновує повернення матеріалів до виробничого циклу. Це дає змогу порівнювати альтернативи без завищення екологічної переваги другого циклу.

Екологічна доцільність другого маршруту залежить не від самого факту продовження строку служби батареї, а від реального обсягу корисної роботи, який вона виконує. Для кількісної оцінки необхідні фактичні дані про залишкову ємність і технічний стан батареї, тривалість другого циклу, кількість пропущеної через накопичувач електроенергії, втрати під час заряджання і розряджання, вплив діагностики та підготовки, структуру джерел електроенергії, а також характеристики нової системи накопичення, яку повторно використана батарея може замістити.

Функціональним результатом стаціонарного застосування доцільно вважати не саму номінальну ємність, а фактичний обсяг електроенергії, який система здатна накопичити та віддати протягом другого циклу. Дві батареї з однаковою залишковою ємністю можуть відрізнятися внутрішнім опором, ефективністю заряджання і розряджання та швидкістю подальшої деградації. Тому для коректного порівняння необхідно враховувати очікувану кількість корисних циклів, втрати енергії та умови експлуатації [3].

Ключовою умовою переходу до другого циклу є підтверджена технічна придатність батареї. Перед повторним використанням необхідно оцінити доступну ємність, внутрішній опір, розкид параметрів між акумуляторними комірками, температурну поведінку, наявність помилок системи керування акумуляторною батареєю та відомості про механічні, термічні або інші аварійні впливи. Огляд методів діагностики підтверджує, що визначення технічного стану і залишкового ресурсу є необхідною передумовою безпечного переходу від електромобіля до стаціонарної системи накопичення [4].

Використані батареї також характеризуються неоднорідністю стану окремих комірок і модулів. Різний рівень деградації може впливати на допустимий струм, тепловиділення та стабільність роботи всієї системи. Тому рішення про повторне використання не повинно ґрунтуватися лише на показнику ємності. Його доцільно поєднувати з даними про температурні відхилення, помилки системи керування, ремонти, заміну модулів та аварійні події; за неповної історії обсяг діагностики має бути збільшений [4].

Важливим чинником є тривалість другого функціонального циклу. За результатами LCA-дослідження Koroma та співавт., кліматичні переваги сценаріїв із відновленням батарей зростали за тривалішого другого строку служби — понад 5 років — і більшої частки акумуляторних комірок, придатних до повторного використання — понад 50 % [3]. Це свідчить, що сама наявність залишкової ємності ще не є достатнім екологічним обґрунтуванням: повторне використання повинно забезпечувати достатній строк і обсяг корисної енергетичної роботи.

Для другого циклу найбільш придатними є режими, у яких вимоги до питомої потужності, маси та динамічних навантажень нижчі, ніж у транспортному засобі. До них можуть належати накопичення енергії від локальних відновлюваних джерел, резервне живлення та вирівнювання навантаження. Водночас екологічний ефект залежить від реальної інтенсивності використання: якщо накопичувач працює рідко або не заміщує нове обладнання, перевага продовження строку служби може бути обмеженою [2, 3].

Інформаційною основою для прийняття такого рішення може бути цифровий паспорт батареї. Регламент (ЄС) 2023/1542 передбачає облік даних про стан батареї, кількість циклів, негативні події та зміну її статусу впродовж життєвого циклу [1]. Наявність простежуваної історії дає змогу поєднати результати діагностики з інформацією про попередню експлуатацію та обґрунтовано визначити подальший маршрут — повторне використання або перероблення.

Практична схема прийняття рішення може включати ідентифікацію батареї та відновлення її доступної історії, діагностику, визначення допустимого режиму другого циклу і подальше порівняння з маршрутом безпосереднього перероблення. Цифровий паспорт здатний поєднати ці етапи в єдиному інформаційному ланцюгу та забезпечити простежуваність рішення від завершення автомобільної експлуатації до остаточного перероблення [1].

За неповної історії експлуатації рішення щодо повторного використання потребує додаткової діагностики. Інформаційна невизначеність не є тотожною технічній непридатності батареї, але має враховуватися під час визначення безпечного режиму другого циклу та вибору між повторним використанням і переробленням [1, 4]. За відсутності достатніх даних рішення доцільно відкладати до отримання результатів поглибленої діагностики.

Отже, повторне використання тягової акумуляторної батареї у стаціонарній системі доцільно розглядати як проміжний етап перед кінцевим переробленням, а не як універсальну альтернативу йому. Екологічна перевага такого маршруту можлива за одночасного виконання трьох умов: підтвердженої технічної придатності батареї; достатньої тривалості та корисної енергетичної роботи другого циклу; реального заміщення нової системи накопичення або іншого способу забезпечення тієї самої функції. Для пошкоджених батарей, батарей із недостатнім залишковим ресурсом або коротким прогнозованим строком другого використання пріоритетним маршрутом має залишатися перероблення.

Список літератури:

1. European Parliament and Council of the European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries. Official Journal of the European Union, L 191, 1–117. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj
2. Etxandi-Santolaya, M., Canals Casals, L., Montes, T., & Corchero, C. (2023). Are electric vehicle batteries being underused? A review of current practices and sources of circularity. Journal of Environmental Management, 338, 117814. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117814
3. Koroma, M. S., Costa, D., Philippot, M., Cardellini, G., Hosen, M. S., Coosemans, T., & Messagie, M. (2022). Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management. Science of the Total Environment, 831, 154859. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154859
4. Kostenko, G., & Zaporozhets, A. (2024). Transition from electric vehicles to energy storage: Review on targeted lithium-ion battery diagnostics. Energies, 17(20), 5132. https://doi.org/10.3390/en17205132

МАНДРИК О.М., БАНДУРА А.І., НИКИФОРУК О.І.,
ЦАРУК Є. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМИ ДНІСТРОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, mandryk68@gmail.com

Abstract. This study investigates the applicability of the mathematical framework of coefficient-dependent double delays for modeling the multispecies dynamics of fish fauna in river ecosystems of Ukraine. Based on the approach proposed by Li and Dong (2025), the model framework was extended to describe predator–prey interactions in aquatic ecosystems. A general multidimensional model was developed that accounts for four predatory fish species and 15 prey species in the Ukrainian parts of the Dnipro, Dniester, and Danube River basins. A simplified model was additionally developed to investigate trophic interactions in the ecosystem of the Dniester Reservoir, comprising two prey species – the pelagic bleak and the littoral roach – and two predator species – the perch as a generalist mesopredator and the asp as a specialized pelagic predator. The proposed approach enables the investigation of temporal population dynamics, interspecific trophic interactions, and potential changes in the structure of fish communities under the influence of natural and anthropogenic factors.

Традиційні екологічні моделі зосереджувалися на прямому летальному хижацтві. Проте емпіричні дослідження довели, що сама лише присутність хижака здатна суттєво пригнічувати репродуктивний успіх жертв, що було наочно продемонстровано експериментами на птахах. Відповідно до даних, наведених у звітах Інституту гідробіології за 2017 і 2018 роки та Інституту рибного господарства за 2025 рік, іхтіофауна українських частин басейнів Дністра, Дніпра та Дунаю може бути структурована за трофічною належністю на дві основні групи - хижих риб і їхніх кормових об'єктів. До групи хижаків віднесено чотири види: окунь річковий (*Perca fluviatilis*), жерех (*Aspius aspius*), форель струмкова (лосось-кумжа, *Salmo trutta*) та лосось (*Hucho hucho*) [1, 2].

У математичних моделях екологічних систем, зокрема в моделях типу «хижак–жертва», біфуркація Хопфа характеризує якісну зміну динаміки системи, за якої стабільний стаціонарний стан втрачає стійкість і виникають періодичні коливання чисельності популяцій. За умови стабільної рівноваги чисельність окремих видів залишається практично незмінною в часі. Натомість після проходження критичного значення параметра система переходить до коливального режиму, що супроводжується послідовною зміною чисельності жертв і хижаків [3].

Зростання чисельності кормових видів сприяє збільшенню доступності ресурсів для хижаків, що, у свою чергу, стимулює їх розмноження та зростання популяції. Збільшення кількості хижаків посилює прес на кормову базу, внаслідок чого чисельність жертв знижується. Подальше скорочення доступної здобичі обмежує ресурсне забезпечення хижаків і призводить до зменшення їх чисельності. Послаблення хижацького тиску створює передумови для відновлення популяції жертв, після чого цикл повторюється. Важливу роль у формуванні таких коливань відіграють часові затримки в екологічних процесах. Зокрема, реакція популяції хижаків на зміну чисельності або доступності здобичі не відбувається миттєво, оскільки між споживанням корму, накопиченням енергетичних ресурсів, розмноженням та зміною чисельності існує певний часовий інтервал. Наявність таких затримок може спричиняти перехід системи через точку рівноваги та формування стійких періодичних коливань.

Таким чином, у контексті математичного моделювання екосистем біфуркацію Хопфа доцільно розглядати як механізм переходу від стаціонарної рівноваги до динамічного режиму періодичних коливань чисельності взаємопов'язаних популяцій. Такий режим відображає часову взаємозалежність між популяціями хижаків і жертв та може бути використаний для оцінювання стійкості екосистем до зовнішніх впливів. У науковій літературі [3] сукупність зазначених матричних блоків розглядають як компоненти матриці Якобі, сформованої у розширеному фазовому просторі системи. Характеристичне рівняння системи матиме блочно-матричний вигляд:

$$\det\Delta(\lambda) = \det\begin{pmatrix} \lambda I_N - A & -A^{(0)} - A^{(1)}e^{-\lambda\tau_1} \\ -B^{(2)}e^{-\lambda\tau_2} & \lambda I_M - B^{(0)} - C^{(2)}e^{-\lambda\tau_2} \end{pmatrix} = 0.$$

Це розкривається у характеристичний квазіполіном $(N+M)$-го степеня. Нехай характеристична матриця має вигляд:

$$\Delta(\lambda) = \begin{pmatrix} D_A(\lambda) & -M(\lambda) \\ -N(\lambda) & D_B(\lambda) \end{pmatrix},$$

де кожен блок визначається так. $D_A(\lambda)$ - діагональна матриця $N \times N$, що відповідає власній динаміці жертв. Її діагональні елементи: $P_i(\lambda) = \lambda + a_i x_i^* \quad (i = 1, \dots, N)$. $D_B(\lambda)$ - діагональна матриця $M \times M$, що відповідає власній динаміці хижаків. Її діагональні елементи:

$$Q_j(\lambda) = \lambda + m_j + 2n_j y_j^* - (m_j + n_j y_j^*)e^{-\lambda\tau_2} \quad (j = 1, \dots, M).$$

$M(\lambda)$ - матриця $N \times M$ впливу хижаків на жертв (хижацтво + страх). Її елементи:

$$M_{ij}(\lambda) = c_{ij}x_i^* + x_i^*\left(\frac{r_i k_{ij}}{(1+\sum_l k_{il}y_l^*)^2} + b_{ij}\alpha_i\right)e^{-\lambda\tau_1}.$$

$N(\lambda)$ - матриця $M \times N$ впливу жертв на хижаків (конверсія біомаси). Її елементи:

$$N_{ji}(\lambda) = \beta_{ji}e^{-d_j\tau_2}y_j^*e^{-\lambda\tau_2}.$$

Для блочних матриць застосовується формула доповнення Шура. Якщо матриця $D_A(\lambda)$ є оборотною, то визначник розкривається як:

$$\det\Delta(\lambda) = \det(D_A(\lambda)) \cdot \det(D_B(\lambda) - N(\lambda)D_A^{-1}(\lambda)M(\lambda)) = 0.$$

Висновки та практичне значення.

У результаті проведеного дослідження розглянуто математичний підхід до опису багатовидової динаміки іхтіофауни річкових басейнів України з урахуванням трофічних взаємодій між популяціями хижаків і жертв та часових затримок у функціонуванні екосистем. На основі математичного апарату Лі та Донга (2025) сформовано підґрунтя для застосування коефіцієнт-залежних подвійних затримок до аналізу складних екологічних систем.

Отже, запропонований математичний підхід дозволяє поєднати видовий склад іхтіофауни, трофічні взаємодії та часові затримки в єдиній динамічній моделі. Його подальше застосування може бути спрямоване на визначення критичних параметрів стійкості, встановлення умов виникнення періодичних режимів та оцінювання реакції модельних іхтіосистем на зміни чисельності окремих видів, інтенсивності хижацтва та інших екологічних факторів. Це створює основу для кількісного аналізу стійкості та прогнозування динаміки іхтіофауни Дністровського басейну.

Список літератури:

1. 1.Інститут рибного господарства НААН України. Звітні матеріали щодо видового складу та стану іхтіофауни річкових басейнів України. Київ, 2025.
2. Інститут гідробіології НАН України. Звітні матеріали щодо стану іхтіофауни та водних екосистем басейнів Дністра, Дніпра та Дунаю. Київ, 2017.
3. Li X., Dong Z. Mathematical modeling of predator–prey systems with coefficient-dependent double delays. [назва видання та бібліографічні дані потребують уточнення], 2025.

РУСИН І.Б. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕКОЛОГІЯ ЛЮДИНИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ: ТЕМПЕРАТУРНІ, ІНФЕКЦІЙНІ ТА ВОДНІ РИЗИКИ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна; iryna.b.rusyn@lpnu.ua

Abstract. Global warming significantly alters human–environment interactions, posing both direct physiological and indirect ecological risks to population health and safety. Prolonged heat stress exerts severe physiological strain on people, contributing to dehydration, thermoregulatory failure, and elevated heat-related mortality. Concurrently, rising temperatures and altered precipitation patterns expand vector habitats, prolonging the activity seasons of ticks transmitting Lyme disease, as well as mosquitoes transmitting West Nile virus and malaria.

Глобальна кліматична криза кардинально змінила взаємодію людини з навколишнім середовищем. Зміна температурного режиму, зростання частоти аномальних посух та повеней, формують нові ризики для здоров'я та безпеки населення. У цьому контексті екологія людини розглядає як прямий фізіологічний вплив високих температур на організм, так і опосередковані ризики: поширення інфекційних хвороб, погіршення якості води та загальну трансформацію довкілля.

За даними Всесвітньої метеорологічної організації (WMO) та Служби з питань зміни клімату програми Європейського Союзу «Copernicus» літо 2026 року стало одним із найбільш екстремальних за температурними показниками в Європі та супроводжувалося чотирма хвилями спеки. Середня температура за перші два місяці літа на 2,79 °C перевищувала середнє значення за 1991–2020 роки і була найвищою за всю історію спостережень. Надзвичайно високі температури були зафіксовані також в Україні. За даними Українського гідрометеорологічного центру 6 серпня 2026 року в Києві та Рівному температура повітря сягнула 39,0 °C, а у Львові - 37,3 °C. Сучасні кліматичні зміни проявляються не лише як поступове підвищення середньорічної температури, але також через посилення температурних екстремумів. Тривалі та інтенсивні хвилі спеки створюють додаткове фізіологічне навантаження на організм людини, зокрема через порушення терморегуляції, зневоднення та електролітний дисбаланс.

Наслідки екстремальної спеки мають значний вплив на здоров'я людини. Особливо вразливими є люди похилого віку, особи з хронічними захворюваннями, діти та особи, які працюють на відкритому повітрі. Водночас високі температури становлять небезпеку і для людей працездатного віку. Під час хвилі спеки Cerberus у Європі у 2023 році однією з перших зареєстрованих жертв став 44-річний працівник в Італії. За узагальненими розрахунками EuroMOMO, теплові хвилі 2026 року могли спричинити близько 36 тисяч смертей у Європі.

Поряд із прямою дією екстремальних температур, глобальна зміна клімату супроводжується підвищеною частотою і тривалістю екстремальних посух та природних пожеж. За даними глобальних спостережень за останні десятиліття спостерігається стійке зростання площ суходолу, охоплених екстремальними посухами (до 19–22% щомісяця). Наслідком цього є різке зростання пожежної небезпеки для лісів і торфовищ. Вплив токсичного диму від пожеж, зокрема, дрібнодисперсних часток $PM_{2.5}$ охоплює території далеко поза осередками горіння, провокуючи спалахи респіраторних і серцево-судинних захворювань серед населення та ускладнюючи загальну екологічну ситуацію.

Кліматичні зміни також призводять до змін умов існування біологічних переносників інфекційних захворювань. Підвищення температури та зміна режиму опадів можуть сприяти виживанню і розмноженню комах та кліщів, розширенню їхніх ареалів та подовженню сезонів їх активності. Зокрема, м'які зими й раннє настання тепла подовжують сезон активності кліщів *Ixodes ricinus*, які є переносниками збудника хвороби Лайма. Динаміка захворюваності в Україні це підтверджує: якщо за 2020–2024 роки зафіксовано 21 368 випадків, то лише за 2025 рік уже 6 748 випадків хвороби Лайма. Аналогічні процеси спостерігаються щодо комарів, які можуть переносити вірусні та паразитарні інфекції. Подовження теплого періоду року та підвищення температури створюють умови для збільшення періоду активності комарів роду *Culex*, пов'язаних із передаванням вірусу Західного Нілу. Упродовж 2020–2025 років в Україні було зареєстровано 137 випадків гарячки Західного Нілу. Потепління в південних та прибережних регіонах також може збільшувати тривалість активності комарів роду *Anopheles*, які є специфічними переносниками малярії. Хоча зареєстровані в Україні в останні роки випадки малярії були пов'язані із зараженням за межами країни, подальші кліматичні зміни можуть змінювати епідеміологічні ризики.

Ще одним важливим компонентом екології людини є безпека водних ресурсів. Для України це питання має особливе значення, оскільки поверхневі води забезпечують 80% питних потреб. Прогрівання водойм прискорює цвітіння води та розмноження патогенів, тоді як раптові зливи й повені вимивають у річки змиви з полів та каналізаційні стоки. Це прямий шлях до спалахів гострих кишкових та вірусних інфекцій таких як гепатит А, ротавірус і бактеріальних інфекцій, таких як лептоспіроз та холера.

На тлі цих процесів зміна кліматичних умов дедалі виразніше спричиняє загрозу продовольчій безпеці, підриваючи фундаментальні основи здоров'я населення. Відповідно до звіту аналітичної групи *Lancet Countdown* через підвищення температур скорочується тривалість вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, що вже призвело до зниження потенціалу врожайності ряду культур. До того ж вимушені простої та втрата працездатності (понад 295 млрд робочих годин у світі, з яких половина в агросекторі) разом з дефіцитом водних ресурсів поглиблюють ризики недоїдання та створює значний соціально-економічний тиск на вразливі верстви населення.

Отже, глобальне потепління формує комплексний спектр ризиків для екології людини, які охоплюють безпосередній вплив температурного стресу, а також зміну поширення переносників інфекційних захворювань та потенційне погіршення безпеки водних ресурсів. Кліматичний фактор перестав бути абстрактною загрозою майбутнього, перетворившись на поточний деструктивний чинник для здоров'я людини. В умовах України, де кліматичні ризики накладаються на високе антропогенне навантаження та наслідки воєнних руйнувань довкілля, необхідний перехід від пасивного фіксування збитків до активної адаптації до зміни клімату. Це вимагає розгортання систем раннього сповіщення, екологічного моніторингу джерел питного водопостачання, контролю за ареалами патогенів та коригування санітарних норм охорони праці в умовах екстремальних температур, а також підтримки програм скорочення викидів парникових газів та сталого розвитку.

Список літератури

1. Український гідрометеорологічний центр. (2026, 6 серпня). *Оперативна інформація про температурні максимуми в Україні*. ДСНС України. https://www.meteo.gov.ua/
2. Центр громадського здоров'я МОЗ України. (2025). *Аналітичний огляд станів захворюваності на трансмісивні та зоонозні інфекції в Україні за 2020–2025 роки*. МОЗ України. https://phc.org.ua/
3. Центр громадського здоров'я України. (2026, 18 квітня). *Як зміни клімату впливають на українців у 2026 році*. https://phc.org.ua/
4. Balkan Green Energy News. (2026, August 12). *Western Europe sees hottest June–July period on record*. https://balkangreenenergynews.com/
5. Copernicus Climate Change Service & World Meteorological Organization. (2026). *Global Climate Highlights 2026: Summer temperature anomalies and heatwave dynamics in Europe*. C3S / WMO. https://climate.copernicus.eu/
6. EuroMOMO. (2026). *European monitoring of excess mortality for public health action: Heat-related mortality estimates for summer 2026*. https://www.euromomo.eu/
7. European Environment Agency. (2023). *Extreme weather and climate-related hazards: Occupational health and the 2023 Cerberus heatwave impact in Southern Europe*. EEA Report. https://www.eea.europa.eu/
8. Nestler, L. (2026, August 6). *MeteoLux confirms trend of increasingly hot summers*. RTL Today. https://to.rtl.lu/
9. Romanello, M., McGushin, A., Di Napoli, C., ... Hamilton, I. (2021). The 2021 report of the *Lancet* Countdown on health and climate change: Code red for a healthy future. *The Lancet*, *398*(10311), 1619–1662. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6

НЕЧИПОРУК Т.А., РУСИН І.Б. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НАКОПИЧУВАЧІВ КИСЛИХ ГУДРОНІВ ЛЬВІВЩИНИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ САНАЦІЇ

Національний університет "Львівська політехніка"
79013, вул. С. Бандери, м. Львів, Україна; tetiana.nechyporuk.meoek.2025@lpnu.ua

Abstract. The abstract presents a quantitative environmental risk assessment of acid tar storage ponds in the Lviv region using GIS mapping and mathematical modeling in AERMOD, MT3DMS, and HEC-RAS suites. A critical reduction in dam slope stability was determined (Fs=0.94, Pf=0.034), and an integrated risk matrix was constructed using the Saaty-Shmatkov method. A combined two-stage sludge remediation technology using local carbonate raw materials and final bioremediation is scientifically substantiated.

Тривале депонування понад 400 тис. тонн високотоксичних кислих гудронів у відкритих земляних накопичувачах Львівської області без протифільтраційних екранів формує перманентну загрозу регіональній екологічній безпеці. Наявність вільної сульфатної кислоти (H_2SO_4) та рухливих катіонів важких металів (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Mn^{2+}) потребує негайного переходу від пасивного моніторингу до активного інженерного втручання. На основі ГІС-картографування у системі QGIS визначено планові межі зон інтегрального екологічного ризику. Розраховано, що радіус прямого деструктивного впливу лагун становить від 0,5 до 3,0 км (Popovych et al., 2021). Гідрогеологічний аналіз показав, що внаслідок високої карстизації підстильних вапняків тортонського ярусу Роздільського майданчика кислий фільтрат мігрує з латеральною швидкістю 35–42 м/рік, створюючи загрозу для всього транскордонного басейну річки Дністер. За допомогою чисельного моделювання доведено, що кисла суфозія збільшує коефіцієнт фільтрації глиняних бар'єрів у 520 разів. Встановлено, що при екстремальних паводках 1%-ї забезпеченості коефіцієнт стійкості укосів Грибовицької дамби № 2 падає нижче граничного нормативного критерію безпеки: 0,94<1,00.

Падіння стійкості споруди обумовлює зростання річної ймовірності гідродинамічного руйнування: Pf=0,034 (3,4%), отримане значення свідчить про неприйнятну загрозу аварійного розливу 55 000 м³ рідкого нафтошламу з тотальним випалюванням 15,8 га біоценозів заплави. Побудована на основі бально-вагової методології інтегральна матриця ризиків «Ймовірність – Наслідки» зафіксувала ці сценарії у червоній зоні критичного ризику (Shmatkov, 2018). Математичний водно-кліматичний баланс чаші лагун (річний профіцит опадів +10 642,5 м³) довів неможливість застосування пасивного підсушування шламів. Чисельне моделювання приземних концентрацій газів в автоматизованих комплексах AERMOD/ADMS підтвердило перевищення нормативів ГДК за сірководнем (H_2S) до 7,4 раза та діоксидом сірки (SO_2) до 5,2 раза під час літнього штилю (European Environment Agency, 2023).

Для повної ліквідації відкритого дзеркала випаровування науково обґрунтовано комбіновану двоступеневу схему санації: Перший етап: екскаваційна реагентна нейтралізація шламів активним оксидом кальцію (CaO) Миколаївського родовища (Pyshyev et al., 2016). За рахунок екзотермічного тепла реакції (95–115 °C) волога повністю випаровується, а відхід перетворюється на твердий інертний геоматеріал (гіпсококс, pH = 8,5-9,5). Другий етап: фінішна біоремедіація очищеного ложа лагун консорціумами автохтонної мікрофлори. Впровадження цієї технології дозволяє мінімізувати логістичні витрати за рахунок залучення місцевого карбонатного пулу Львівщини, повністю ліквідує загрозу прориву дамб та забезпечує відновлення екосистем до природного фону.

Список літератури:

1. European Environment Agency. (2023). Air quality modeling for industrial risk assessment: Guidelines and applications (EEA Technical Report No. 14/2023). Publications Office of the European Union. https://europa.eu
2. Popovych, O., Voloshyn, M., & Shkvarko, R. (2021). Technogenic impact of acid tar storage ponds on the environment: A case study from Lviv, Ukraine. Journal of Ecological Engineering, 22(9), 114–125.
3. Pyshyev, S., Gunka, V., Grytsenko, Y., & Bratychak, M. (2016). Application of acid tars for the asphalt binder production. Chemistry & Chemical Technology, 10(4), 481–488.
4. Shmatkov, H. H. (2018). Metodolohichni osnovy otsinky ekolohichnoho risky ta upravlinnia tekhnohnennoiu bezpekoiu promyslovykh rehioniv [Methodological foundations of ecological risk assessment and management of technological safety of industrial regions]. Monograph. Dnipro: Seredniak T. K.

ЛІТВАК О.А., ГУРА О.О. (УКРАЇНА, МИКОЛАЇВ)

ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ SENTINEL-2 ТА ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЮ В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПОРТОВИХ АКВАТОРІЙ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
54007, просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна; university@nuos.edu.ua

Abstract. The study substantiates the integration of Sentinel-2 data and laboratory measurements for environmental monitoring of port waters. A five-stage monitoring framework is proposed, including laboratory control, satellite data preparation, spatial screening, verification, and integrated assessment. Particular attention is paid to the B4/B2 band ratio for detecting spatial and temporal changes in suspended matter distribution. The proposed approach can support the identification of priority monitoring zones and improve the planning of field and laboratory observations.

Портові акваторії є складними природно-техногенними системами, стан яких формується під впливом як природних гідрологічних процесів, так і інтенсивної господарської діяльності. Судноплавство, вантажно-розвантажувальні операції, днопоглиблення, берегова інфраструктура, поверхневий стік і повторне залучення донних відкладів до водної товщі можуть спричиняти суттєві зміни показників якості води, зокрема концентрації завислих речовин. Для таких акваторій характерна значна просторово-часова мінливість, що ускладнює її оцінювання лише за результатами традиційного відбору проб [1].

Лабораторний контроль забезпечує отримання точних кількісних характеристик складу води, однак має обмеження, пов'язані з дискретністю спостережень у просторі та часі. Натомість супутникові дані дають змогу оперативно оцінювати просторовий розподіл характеристик водного середовища на великих площах. Особливий інтерес для задач екологічного моніторингу становлять знімки Sentinel-2, які мають достатню просторову розрізненість, багатоспектральну структуру та регулярну повторюваність спостережень [2]. Разом із тим супутникові дані не можуть повністю замінити натурні вимірювання, оскільки потребують локальної верифікації та врахування оптичної специфіки конкретного водного об'єкта [3].

На відміну від підходу, за якого супутникові зображення використовуються лише для разового картування, інтегрована система орієнтована на постійний цикл спостереження, перевірки та уточнення результатів. Запропонована схема інтегрованого моніторингу портових акваторій включає п'ять взаємопов'язаних етапів: лабораторний контроль, підготовку даних Sentinel-2, супутниковий скринінг, верифікацію і дообстеження, а також інтегровану оцінку та управління. Важливою ознакою схеми є наявність зворотного зв'язку між завершальним етапом та початком нового циклу спостережень, що відображає адаптивний характер моніторингу.



Рис. 1. Схема інтегрованого моніторингу портових акваторій

На першому етапі здійснюється лабораторний контроль у визначених точках спостереження, що дає змогу отримати фактичні значення концентрації завислих речовин та інших показників якості води. Такі дані формують основу для кількісної оцінки стану акваторії та подальшого зіставлення з параметрами супутникових зображень [4].

Другий етап передбачає підготовку супутникових даних Sentinel-2: добір сцен, придатних для аналізу, виключення хмарності, тіней та інших спотворювальних факторів, а також формування набору спектральних показників, потенційно чутливих до вмісту завислих речовин. Саме якісна попередня обробка є необхідною умовою надійного використання даних дистанційного зондування для екологічних задач [5].

Третій етап – супутниковий скринінг – передбачає просторовий аналіз акваторії за даними Sentinel-2 для виявлення ділянок із потенційними змінами концентрації завислих речовин. Як спектральну характеристику доцільно використовувати співвідношення каналів B4/B2, обране за

результатами попереднього дослідження як найбільш придатний предиктор. Його просторовий розподіл дає змогу виявляти неоднорідність водного середовища та визначати зони пріоритетного контролю.

Для оцінювання змін між послідовними датами супутникових спостережень пропонується визначати відносну зміну співвідношення B4/B2:

$$\Delta(\mathrm{B4/B2}) = \frac{(\mathrm{B4/B2})_t - (\mathrm{B4/B2})_{t-1}}{(\mathrm{B4/B2})_{t-1}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $(\mathrm{B4/B2})_t$ *– значення спектрального співвідношення на поточну дату спостереження;* $(\mathrm{B4/B2})_{t-1}$ – його значення на попередню дату. Підвищені за абсолютною величиною значення $\Delta(\mathrm{B4/B2})$ можуть свідчити про суттєві зміни оптичних характеристик водної поверхні та використовуватися як додатковий критерій для виділення зон пріоритетного контролю. При цьому такі зміни не слід безпосередньо ототожнювати зі зміною концентрації завислих речовин без подальшої перевірки за результатами натурних спостережень.

Четвертий етап передбачає верифікацію результатів супутникового аналізу та, за потреби, уточнювальне дообстеження виділених зон. Для цього проводиться цільовий відбір проб у ділянках, які характеризуються підвищеними значеннями B4/B2 або суттєвими змінами цього співвідношення між датами спостережень. Ступінь відповідності оцінених супутником і лабораторно визначених концентрацій завислих речовин для окремої точки може бути охарактеризований відносним відхиленням:

$$\delta_i = \frac{|C_{\text{сп},i} - C_{\text{лаб},i}|}{C_{\text{лаб},i}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $C_{\text{сп},i}$ – концентрація завислих речовин, оцінена за супутниковими даними для i-ї точки; $C_{\text{лаб},i}$ – концентрація завислих речовин, визначена лабораторним методом; δ_i – відносне відхилення між супутниковою та лабораторною оцінками, %. Використання цього показника дає змогу кількісно оцінювати узгодженість результатів дистанційного й лабораторного контролю та визначати необхідність уточнення локальної залежності між спектральними характеристиками Sentinel-2 і концентрацією завислих речовин.

П’ятий етап охоплює інтегровану оцінку результатів та їх використання для екологічного управління. На цій стадії формується узагальнене уявлення про стан акваторії, визначаються зони потенційного ризику, оцінюється доцільність коригування мережі спостережень, періодичності контролю та пріоритетів подальшого моніторингу [6]. Зворотний зв’язок із першим етапом означає, що результати інтегрованої оцінки мають бути підставою для оновлення наступного циклу спостережень.

Запропонована інтеграція лабораторного контролю й супутникових спостережень поєднує точність натурних вимірювань із просторовим охопленням Sentinel-2 та дає змогу більш обґрунтовано визначати зони пріоритетного відбору проб. Водночас інтерпретація супутникових даних потребує врахування атмосферних умов, властивостей водної поверхні, характеристик завислих частинок і сезонної мінливості оптичних параметрів.

Список літератури:

1. Dogliotti A. I., Ruddick K., Nechad B., Doxaran D., Knaeps E. A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 156. P. 157–168.
2. Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F. et al. Sentinel-2: ESA’s optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 120. P. 25–36.
3. Warren M. A., Simis S. G. H., Martinez-Vicente V., Poser K., Bresciani M., Alikas K. et al. Assessment of atmospheric correction algorithms for the Sentinel-2A MultiSpectral Imager over coastal and inland waters. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 225. P. 267–289.
4. Lock M., Saintilan N., van Duren I., Skidmore A. Monitoring Coastal Water Body Health with Sentinel-2 MSI Imagery. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. Art. 1734.
5. Xu D., Xue Z., Hu L., Chen H. From multi-scale observations to integrated applications: a review of remote sensing for inland water quality monitoring. *Frontiers in Environmental Science*. 2026. Vol. 14. Art. 1832807.
6. Gholizadeh M. H., Melesse A. M., Reddi L. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*. 2016. Vol. 16, No. 8. Art. 1298.

СОКОЛОВА В.І., ВАМБОЛЬ Б.С. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ВПЛИВ ІММОБІЛІЗОВАНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ НА БІОДЕГРАДАЦІЮ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
61000, вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна; Taisiia.Sokolova@khpi.edu.ua

Abstract. The biodegradation of petroleum pollutants using immobilized hydrocarbon-degrading microorganisms was investigated. Biochar was proposed as a natural carrier for microorganism immobilization and improving the stability of the biotechnological system. Its potential for the effective remediation of petroleum-contaminated aquatic environments was demonstrated.

Попередні дослідження підтверджують перспективність використання нафтоокиснювальних мікроорганізмів і консорціумів для біодеградації нафтових забруднень. Водночас актуальним залишається підвищення стабільності та тривалості функціонування мікроорганізмів у змінних умовах водного середовища. Одним із перспективних підходів є їх іммобілізація на природних носіях рослинного походження, зокрема біочарі з харчових відходів, який може поєднувати сорбційні властивості з функцією матриці для закріплення мікроорганізмів. Застосування такого носія відповідає принципам сталого розвитку та сприяє створенню екологічно безпечних біотехнологій очищення водних об'єктів від нафтових забруднень. У зв'язку з цим дослідження спрямоване на визначення ефективності іммобілізації нафтоокиснювальних мікроорганізмів на біочарі з рисового лушпиння та встановлення оптимальних умов їх застосування для біодеградації нафтових забруднень у водному середовищі.

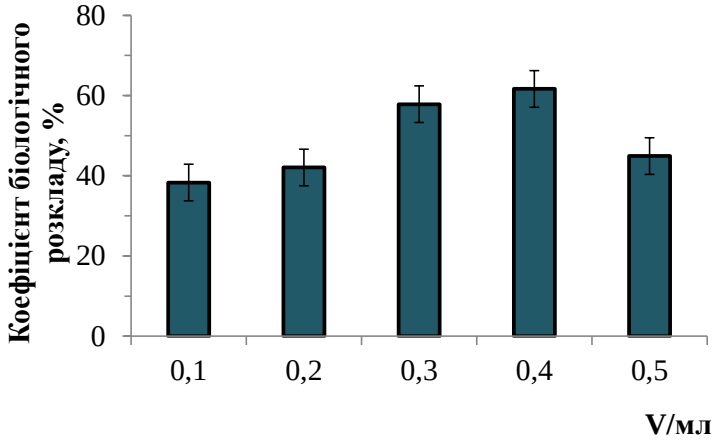


Рис. 1. Динаміка коефіцієнту біодеградації дизельного палива за різною кількістю емульсії в статичних умовах (P ≥ 0,95)

Зі збільшенням кількості емульсії ефективність біодеградації дизельного палива мікробним консорціумом зростала до оптимального значення. Максимальний коефіцієнт деградації отримано при внесенні 0,4 мл емульсії (співвідношення дизельне паливо : емульсія = 1:1). Подальше збільшення її об'єму до 0,5 мл спричинило зниження ефективності, що, ймовірно, пов'язано з обмеженою доступністю азоту та фосфору, необхідних для росту й метаболічної активності мікроорганізмів.

Встановлено, що оптимальним для біодеградації дизельного палива мікробним консорціумом є внесення 0,4 мл емульсії (1:1), тоді як її подальше збільшення знижує ефективність процесу, ймовірно, через обмеженість доступних біогенних елементів.

Список літератури:

1. Kupriyashkina, H., Pylypenko, L., Sevastyanova, E., Mazurenko, K., Hugi, Ch., Breitenmoser, L., Krusir, G., Malovanyy, M. Microbiological landscape of oil-contaminated soil and its bioremediation by microorganisms. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2024, 25(2), 31–40.
2. Krusir, G., Korkach, H., Pylypenko, G., & Khomych, N. Methodological bases for determining the biologicality of food products for environmental labelling. Journal of Chemistry and Technologies, 2024, 32(4).

RADOMSKA M., CHYZHEVSKA K.R. (UKRAINE, KYIV)

THE ASSESSMENT OF WARFARE DAMAGE INFLICTED UPON UKRAINE'S ANIMAL WORLD AND BIODIVERSITY

National University "Kyiv Aviation Institute"
L. Huzar Ave. 1, Kyiv, Ukraine; m.m.radomskaya@gmail.com

Abstract. This paper evaluates the warfare damages to Ukrainian fauna based on field data from relevant ministries, nature reserves, and animal protection organizations. The research covers losses of agricultural livestock complexes, disruption of protected natural habitats and red-listed species. The analysis also discusses critical ecological threats, including demographic collapse in isolated populations and heavy metal bioaccumulation, underscoring the urgent necessity of ecological damage accounting for early post-war sustainability planning.

The preservation of biodiversity is a foundational pillar for the sustainable development of any sovereign state, serving as the biological infrastructure that regulates climate cycles, maintains soil fertility, and secures crucial ecosystem services. However, intense military operations have caused unprecedented disruptions to these complex natural dynamics. To foster effective post-war ecological remediation, early and meticulous accounting of wildlife and livestock losses is absolutely imperative. Establishing a precise data baseline during active conflicts allows policymakers, conservationists, and international stakeholders to design targeted restoration strategies, secure necessary funding, and integrate ecological recovery directly into the broader national reconstruction agenda.

The agricultural sector has experienced immense, documented destruction, with livestock casualties running into millions due to kinetic strikes, infrastructural collapse, and subsequent abandonment. By mid-June 2022, the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine estimated that hostilities in affected regions had led to the deaths of approximately 92,000 cattle, 42,000 sheep and goats, 258,000 pigs, and more than 5.7 million poultry. These staggering figures remain conservative approximations, given that numerous heavily bombarded territories remained entirely inaccessible for systematic veterinary audits.

The primary drivers of domestic animal mortality extended far beyond direct shelling; fatal outcomes were heavily driven by the abrupt loss of electricity, which permanently disrupted automated feeding, watering, and climate control systems. A stark manifestation of this infrastructural failure occurred at the "Slobozhanskyi" agricultural complex in Chkalovske, Kharkiv oblast. Caught in an active occupation zone without power, the enterprise lost roughly 63,000 pigs.

In late 2022, documented losses in Donetsk oblast on government-controlled territories reached 1,000 cattle, 21,000 pigs, 600 sheep, 3,000 rabbits, and over 1 million poultry, compounded by the destruction of 24 livestock complexes and 4 major poultry factories due to military-induced fires. Early invasion data recorded fluctuating but heavy losses, spanning between 950 and 1,256 cattle, 1,596 to 1,889 pigs, and thousands of poultry units in Sumy oblast. Individual farming entities suffered acute crises; for instance, a single farm in Mala Rogan, Kharkiv oblast, lost 142 animals, with 70 individuals burning alive during intense shelling.

Unlike localized agricultural operations, wild fauna faced vast, uncontained threats across terrestrial, avian, and maritime ecosystems. The Black Sea maritime environment suffered immensely; in 2022 alone, over 900 dolphin deaths were documented across the coastal zones of Ukraine, Romania, Bulgaria, Turkey, and Georgia. By 2023, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine reported approximately 1,000 detected cetacean deaths. The true ecological toll is likely far higher, as countless carcasses sink undetected out at sea. The primary causes of these mortalities include high-intensity acoustic trauma from naval sonars, underwater explosions, missile launches, floating sea mines, and localized chemical fuel pollution.

Avian and terrestrial wildlife faced similar severe disruptions. For example, in the National Nature Park "Tuzlivski Lymany", which hosts over 260 bird species, intense noise pollution and explosions forced migratory and breeding birds to abandon active nesting sites, resulting in high chick mortality due to parental desertion.

Large mammal attrition was also the outcome of war actions. Thus, the National Nature Park "Zalissia" saw its resident European bison herd drop from 26 individuals down to just 14 after occupation, completely losing all mature reproductive males. Microfauna is even at bigger pressure due to intensive soil degradation: mechanical movements of heavy military armor combined with frequent fires severely decimated underground invertebrate populations.

The nature of the damage inflicted upon domestic animals contrasts sharply with the vulnerabilities of wild fauna. Domestic livestock suffered from localized, highly concentrated, and catastrophic mortality events driven by automated infrastructure dependency and physical confinement. When a commercial farm loses power or takes a direct hit, thousands of animals perish rapidly due to hunger, smoke inhalation, or thirst. Conversely, wild animals are exposed to expansive, decentralized, and systemic ecological threats. While wild animals possess natural mobility to flee immediate blast zones, their mortality is dictated by the large-scale degradation of migratory pathways, the loss of breeding grounds, and pervasive acoustic and chemical stressors spanning thousands of square kilometers.

Furthermore, human intervention strategies differed significantly between the two groups. Evacuation efforts managed to rescue specific, manageable cohorts of domestic and captivated animals, such as UAnimals evacuating 2,831 animals in 2024, or the coordinated relocation of 38 horses from the Dergachi youth sports school right before its total destruction. Specialized operations also saved vulnerable wild groups, such as the rescue of 576 bats near Kyiv. However, implementing such rescue operations for free-ranging, wild populations across active combat zones remains entirely impossible.

The protracted consequences for Ukraine’s broader biodiversity are profoundly concerning, threatening to permanently alter the country's ecosystems. The war has directly impacted 1,184 objects of nature reserve fund, with 304 remaining under temporary occupation and 427 undergoing complex de-occupation processes. These protected areas shelter many of the 542 endangered species registered in the Red Book of Ukraine.

The long-term outlook from the current situation highlights two major ecological threats. First, the drastic reduction of isolated populations, such as the European bison in Zalissia or the northern mole vole in Kamianska Sich, creates severe genetic bottlenecks. The loss of reproductive adults compromises long-term population viability, accelerating localized extinctions. Second, the extensive deposition of heavy metals and toxic residues from exploded munitions presents a severe long-term hazard. These toxins gradually leach into the soil and accumulate inside soil invertebrates, slowly traveling up the trophic ladder into predatory birds and mammals. This ongoing bioaccumulation threatens to cause chronic reproductive failures and neurological diseases across multiple generations of Ukrainian wildlife, complicating conservation efforts for decades to come.

In conclusion, the systematic collection and rigorous accounting of ecological damage data are crucial not only for the immediate restoration of lost biodiversity but also for securing the long-term functional stability of post-war ecosystems. Comprehensive data baselines enable ecological planners to anticipate trophic disruptions, manage habitat connectivity, and ensure that restored environments remain resilient against future stressors. Furthermore, the insights gained from analyzing warfare-induced environmental degradation possess immense value for global conservation science, offering critical reference frameworks for modeling ecosystem behavior and planning adaptive mitigation strategies during future natural disasters and anthropogenic crises.

ТЕРЛЕЦЬКИЙ І.Р., ЧЕРЕПАНИН Р.М. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ЕКОСИСТЕМНІ ФУНКЦІЇ ТА СТРУКТУРНО-ЕКОЛОГІЧНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ЛІХЕНОБІОТИ ПЕТРОФІТНИХ СТЕПІВ ОПІЛЛЯ В КОНТЕКСТІ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника;
76008, вулиця Галицька, 201Б, Івано-Франківськ, Україна; ivan.terletskyi.22@pnu.edu.ua

Abstract. The study elucidates the ecosystem services provided by lichen synusiae of biological soil crusts (BSCs) in the petrophytic steppes of the Opillya region, with particular emphasis on their role in slope erosion control and primary pedogenesis. It was established that the proportion of biomorphological and ecological groups serves as a sensitive indicator of anthropogenic disturbance. Specifically, agrogenic eutrophication promotes the proliferation of nitrophilous species; pastoral digression causes mechanical disturbance and removal of the crust; while land abandonment leads to the degradation of photophilous communities due to the accumulation of dead plant biomass. Furthermore, sustainable nature management practices are substantiated to ensure the conservation of these relict habitats.

Екстразональні петрофітно-степові комплекси Опілля у межах Івано-Франківської області становлять собою унікальні реліктові анклави кальцефільної вегетації, просторово ізольовані на неогенових вапнякових і гіпсових відслоненнях («ґовдах») [1, 2]. Стрімкі схили крутизною 40–80° південної та південно-західної експозицій зазнають впливу екстремального комплексу абіотичних чинників: дефіциту вологи, значної сонячної інсоляції, різких добових амплітуд температур поверхні субстрату та постійної загрози водно-вітрової ерозії. В умовах початкової відсутності повнопрофільного ґрунту ключовим структуроутворюючим елементом таких біотопів виступають біологічні ґрунтові кірки (БҐК), сформовані асоціаціями епігейних і наскельних лишайників разом із бріофітами [2, 3]. В умовах інтенсивного господарського освоєння регіону ці синузії виконують фундаментальні екосистемні послуги з регулювання гідрологічного режиму, первинного ґрунтоутворення та протидії ерозії [3], а їхня внутрішня структура слугує об'єктивним інтегральним індикатором антропогенного дисбалансу ландшафтів [2, 4].

Емпіричну базу дослідження склали результати польових робіт, проведених упродовж вегетаційних сезонів 2025–2026 років на десяти репрезентативних полігонах у межах Рогатинського, Бурштинського та Придністровського Опілля. Інвентаризація виявила абсолютне панування класу *Lecanoromycetes* (близько 85–90% флори) і широке видове та родове різноманіття (понад 70 видів із 40 родів і 20 родин). Розрахований індекс видового багатства роду становить 1,97, що є свідченням дії суворого регіонального едафо-кліматичного «сита», яке жорстко лімітує диверсифікацію родів і відсікає неадаптовані мезофільні види [1, 4].

Біоінженерна функція ліхеносинузій реалізується завдяки глибокому проникненню ризоїдальних гіф мікобіонта в мікротріщини підстильної породи та пористі горизонти елювію на глибину до 5–12 мм, де міцеліальна сітка механічно зв'язує рухливий мінеральний детрит, карбонатний пил та уламки гіпсу [2, 3]. Одночасно слизові чохли фотобіонтів і міцеліальні ексудати продукують комплекс позаклітинних полісахаридів (EPS), які при зволоженні формують гідрофільний колоїдний гель, що цементує мінеральні часточки у водостійкі ґрунтові мікроагрегати діаметром 0,25–1,0 мм і забезпечує структурність поверхневого мікрошару [3]. Пориста структура сланей виконує роль потужного гідрологічного буфера, адсорбуючи опади, конденсат і росу в обсягах від 250% до 700% сухої маси талому [3]; це ефективно гасить кінетичну енергію злив, запобігає формуванню кірки запливання ґрунту й трансформує деструктивний поверхневий стік у повільну інфільтрацію, запобігаючи яругоутворенню та дефляції. Додатково потужний шар білої пруїни з кристалів оксалату кальцію у розеткоподібних кальцефілів (*Squamarina lentigera, Psora decipiens*) відбиває до 40% надлишкової сонячної радіації, знижуючи температуру поверхні ґрунту під сланями на 2–4 °C у пік літньої інсоляції та стримуючи непродуктивне фізичне випаровування дефіцитної вологи.

Одночасно з механічним захистом лишайники виступають активними агентами біогенного хемолізу та початкового педогенезу [2, 5]. Синтезовані мікобіонтом вторинні метаболіти (щавлева, леканорова, уснінова кислоти) спричиняють розчинення карбонату кальцію ($CaCO_3$) під дією протонів водню (H^+), у результаті чого утворюються катіони кальцію (Ca^{2+}), вода (H_2O) та виділяється вуглекислий газ (CO_2). Одночасно органічні ексудати мікобіонта активно хелатують катіони кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}) із мінеральної матриці. Взаємодія щавлевої кислоти з вапняковим субстратом

призводить до випадання нерозчинних оксалатів кальцію, зокрема моногідрату вевеліту ($CaC_2O_4 \cdot H_2O$), кристали якого відкладаються в мікрошпарах, розширюють їх і стимулюють механічне дроблення породи з накопиченням карбонатного дрібнозему первинних дерново-карбонатних ґрунтів (рендзин) [5].

Наявність у складі біокірок азотфіксуючих ціанолишайників (*Peltigera rufescens, Enchylium tenax*), які утворюють понад 10% таксономічного складу біоти, забезпечує біологічну фіксацію до 0,5–1,5 г діючого нітрогену на одиницю площі за сезон завдяки активності симбіотичних ціанобактерій [3]. Це локально збагачує оліготрофний мінеральний субстрат біодоступними сполуками азоту, зокрема амонієм (NH_4^+) і нітратами (NO_3^-), що фасилітує послідовне вселення корінних степових трав'янистих ценозів класу *Festuco-Brometea* [1, 4].

Екологічний спектр ліхенобіоти слугує надійним еталоном збалансованого стану екосистеми: у корінних біотопах абсолютно переважають геліофіти (60,00%), ксерофіти (50,67%) та облігатні кальцефіли (46,67%) [4]. В урочищах «Куропатницький камінь» та «Жалибірські Транти» ці види формують союз *Toninion sedifoliae* (оселище EUNIS E1.2D21) із суцільним проективним покриттям ґрунтової кірки до 70–80% у межах облікових площ 1×1 м [1]. Домінанти – червонокнижні *Psora decipiens, Squamarina lentigera*, а на шаруватих мергелях «Явченського останця» – їхній екологічний вікарій *Placidium squamulosum*, що слугують надійними індикаторами збереження цілісності степових біотопів [2, 4].

Аналіз біоморфологічного спектру показує адаптивне домінування накипних (50,67%) та сквамульозних (17,33%) форм, сумарна частка яких сягає майже 70% ценозів [2, 3]. Листуваті та кущисті біоморфи становлять відповідно 18,67% та 13,33%, займаючи стабілізовані мікроніші. За субстратною диференціацією понад половину угруповань складають епіліти (52,00%), тоді як на частку епігеїв припадає 40,00%, а епібріофітів — 8,00%.

Порушення цієї структури сигналізує про деградаційні сукцесії [2, 3]. Зокрема, агрогенна евтрофікація на «Колоколинській гряді» проявляється внаслідок змиву мінеральних азотних добрив із прилеглих полів ріпаку, що спричиняє аномальний спалах нітрофілів (до 20%), які витісняють оліготрофних кальцефілів [2]. Пасовищна дигресія в урочищі «Подільські скелі» внаслідок нерегульованого літнього випасу великої рогатої худоби призводить до механічного стирання сухих крихких сланей копитами та втрати захисного шару, провокуючи ерозійні розмиви [2, 3]. На «Підмихайлівських пагорбах» повне вилучення ділянки з господарського використання зумовлює накопичення щільного шару злакової мортмаси, яка знижує покриття світлолюбних лишайників до критичних 1–2%, а в урочищі «Тарасівка» вологолюбні мезофіли роду *Peltigera* витіснили більшість ксерофітів [2, 4].

Отже, біологічні ґрунтові кірки петрофітних степів Опілля є незамінним фактором первинного педогенезу та протиерозійної безпеки схилів [3]. Моніторинг співвідношення біоморфологічних груп лишайників дає змогу оперативно діагностувати деградацію біотопів задовго до прояву видимого лінійного розмиву ґрунтів. Модель збалансованого природокористування в регіоні має передбачати: створення буферних чагарникових смуг завширшки не менше 50 м уздовж межі з агроценозами для перехоплення нітрогенного стоку в поєднанні з селективним вирубуванням чагарникової порості [1, 2], а також впровадження регульованого екстенсивного пізньоосіннього випасу (листопад), що запобігає пошкодженню вже насичених вологою сланей худобою та підтримує стан динамічного плагіоклімаксу [2, 3]. Впровадження науково обґрунтованого сезонного менеджменту дозволить запобігти ерозійній деградації схилів та зберегти генофонд рідкісних ліхеноценозів національного і європейського значення [1, 2].

Список літератури:

1. Заморока А. М., Черепанин Р. М., Мателешко О. Ю. Реліктові степові екосистеми Опілля та проблеми їх охорони. *Вісник Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника. Серія Біологія*. 2018. Вип. 24. С. 45–56.
2. Терлецький І. Р. ЛІХЕНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕТРОФІТНИХ СТЕПІВ ОПІЛЛЯ В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ПРИРОДООХОРОННІ АСПЕКТИ : кваліфікаційна (дипломна) робота бакалавра / Карпатський національний університет імені Василя Стефаника. Івано-Франківськ, 2026. 105 с.
3. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management / eds. J. Belnap, O. L. Lange. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 503 p.
4. Дідух Я. П. *Основи синфітоіндикації.* Київ : Наукова думка, 2012. 344 с.
5. Lichen-induced weathering of rock: the role of oxalic acid in the weathering of marble and limestone / S. E. Favero-Longo et al. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2009. Vol. 63, Iss. 7. P. 892–899.

ГОЛЕЦЬ Н.Ю., ШКВІРКО О.М., ТИМЧУК І.С., МАЛЬОВАНИЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕКОЛОГІЧНІ ТА АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

Національний університет «Львівська політехніка»,
79000, вул. Степана Бандери, 12 , м. Львів, Україна:holetsnatalka@gmail.com

Abstract. The paper examines the problem of soil degradation in Ukraine and the accumulation of sewage sludge (SS) and polymer waste. The potential of using these waste streams as secondary raw materials for the reclamation of disturbed lands is substantiated. A combined approach involving treated sewage sludge, mineral fertilizers, and encapsulation of the resulting composition with secondary polymer materials is proposed. This approach provides controlled nutrient release, improves soil properties, and promotes plant establishment. At the same time, it reduces the amount of waste sent for disposal and contributes to the development of a closed resource cycle. The effectiveness of the proposed technology should be assessed with regard to the environmental, sanitary, and agrochemical safety of sewage sludge.

Військові дії в Україні разом із великою кількістю відходів, роботою промисловості та інтенсивним агровиробництвом є основними причинами деградації ґрунтів та порушення рівноваги екосистем. Водночас розширення міст та виробництв призводить до постійного збільшення кількості відходів. Особливо це стосується накопичення осадів стічних вод (ОСВ) і синтетичних полімерних матеріалів.

В Україні на мулових майданчиках зберігається більше 5 млрд т осадів. З них утилізується приблизно 3–5% переважно для виробництва органо-мінеральних добрив, решта захоронюється. Це призводить до забруднення ґрунтів, підземних вод та додаткових викидів парникових газів в атмосферу. Сьогодні основними способами утилізації осадів стічних вод є захоронення, спалювання та використання у сільському господарстві. В деяких країнах світу ОСВ також використовують для рекультивації земель, кар'єрів та закритих звалищ, виробництва будівельних матеріалів або отримання теплової енергії.

Як свідчать наукові дані, осади стічних вод є цінною вторинною сировиною, яка містить значну концентрацію біогенних елементів, а саме азоту ~ 4%, фосфору ~ 2,5%, калію ~ 0,5%. Також осади містять органічний вуглець, білкові сполуки та мікроелементи, такі як кобальт, бор, залізо та інші. Завдяки такому складу ОСВ вже тривалий час використовуються в різних галузях економіки багатьох європейських країн. У Великій Британії, Іспанії та Португалії стабілізовані осади стічних вод використовують як органо-мінеральне добриво. В Німеччині, Фінляндії та Швеції їх змішують з вапном, а отриману суміш використовують при відновленні порушених кар’єрів, відвалів та ізоляції закритих сміттєзвалищ. В агроекологічних умовах України використання ОСВ як компоненту субстрату стимулює підвищення вмісту гумусу та забезпечує приріст урожайності культур на 20–33%. Для нашої держави саме такий спосіб утилізації осадів стічних вод є найкращим та найефективнішим. Але використання осадів стічних вод як добрив вимагає контролю токсичності, наявності важких металів та санітарно-епідеміологічної безпеки.

Схожа проблема також спостерігається і з відходами полімерних матеріалів. Найбільшим недоліком таких відходів є їх висока стійкість та повільне розкладання. Саме тому відбувається стрімке зростання кількості пластику на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ).

Отже, важливо оцінити можливість їхнього застосування в процесі рекультивації деградованих земель. Досягти цього можна шляхом капсулювання мінеральних добрив полімерною оболонкою.

Використання вторинного полімерного матеріалу, зокрема відходів полістиролу, для формування захисного покриття дає змогу не лише дешево сформувати оболонку з пролонгованим вивільненням поживних компонентів, але й зменшити обсяг накопичення стійких полімерних відходів на полігонах ТПВ. Це сприятиме ефективнішому забезпеченню рослин необхідними елементами живлення, збільшенню їхньої вегетативної маси та підвищенню приживлюваності на збіднених субстратах,

Отож, завдяки використанню субстратів на основі осадів стічних вод та капсульованих мінеральних добрив в процесі рекультивації деградованих земель створюється повністю екологічний цикл. Це, по-перше, допомагає утилізувати велику кількість міських та промислових відходів, а по-друге, значно покращити стан виснажених та забруднених ґрунтів.

МАМЧУР Т.В. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

ЕРГАЗІОФІТ *SOLIDAGO CANADENSIS* L. НА УМАНЩИНІ

Уманський національний університет, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20301. office@unu.edu.ua

Abstract. This paper analyzes the bioecological characteristics of *Solidago canadensis* L. and traces the history of its introduction in Uman, Cherkasy Oblast. The species was first introduced to the botanical nursery of the Uman Agricultural Institute (now Uman National University) in 1975. The aim is to study its botanical characteristics and cultivation conditions within the framework of the discipline “Botany.” The introducer promoted the species for use in landscaping flower beds on private plots as a perennial that requires no special care. This species is an ergasiophyte and ergazphophyte, and therefore poses a threat to the local flora; it is officially recognized as an invasive species in Ukraine, particularly in the Cherkasy region.

Історія інтродукції золотушника канадського (*Solidago canadensis* L.) припадає на 1975 рік в умовах ботанічного розсадника Уманського національного університету. Колекції таксонів сформовано для вивчення біоекології та особливостей культивування в межах курсу «Ботаніка» [3].

Solidago canadensis багаторічник з потужним кореневищем із родини Asteraceae. Цей вид легко адаптується до різних ґрунтів, посухостійкий і не потребує особливого догляду. Рослина досягає від 60 см до 120, а то й 200. Стебло пряме, опушене, листки ланцетні, край зубчастий із загостреною верхівкою. Квітки золотисто-жовті, які зібрано у однобічне розгалужене волотеподібне суцвіття. Ареал поширення Канада, США, натуралізований до Європи. В Україні вид інтродуковано в ботанічні сади, дендропарки, ботанічні розсадники, квітники присадибних ділянок, кладовищ. Вид належить до переліку інвазійних видів України.

Інтродуцента популяризували в озелененні клумб на присадибних ділянках, кладовищах, оскільки привабливий за ботанічною характеристикою і не потребував особливого догляду. Результати власних спостережень зафіксовано у луках сіл Уманського району (Адамівка, Добра, Конельська Попівка, Коржовий Кут, Піківець, Танське), а також поблизу кладовища «Софіївська Слобідка», «Верхнього Ставу» міста та було опубліковано на платформі iNaturalist [2].

Цей вид є ергазіофітом і має алелопатичні властивості, тому становить загрозу для місцевої флори й офіційно визнаний інвазійним в Україні, зокрема Черкащини.

В умовах ботанічного розсадника університету *Solidago canadensis* контролюється в межах зростання ділянки, адже поруч розташований Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України. Під час вивчення курсу ботаніки студенти проводять огляд таксонів, вивчають їхню біоекологію та мають практичні навички з вирощування та впровадження їх в озеленення.

Науковці дослідили алелопатичні властивості даного виду, зокрема фенольні сполуки та інші біохімічно активні речовини, які накопичуються в ґрунтовому середовищі завдяки кореневій системі та рослинним рештками. Такі токсичні речовини здатні витіснити місцеві види, блокуючи їхній ріст та розвиток. Відповідно, на ділянках різко зменшується біорізноманіття: якщо у видовому складі налічують від 30 до 50 видів, то вплив на них *Solidago canadensis* призводить до 3-5 видів, а згодом ділянка стає монокультурою. Також відмічено пригнічення мікрофлори у структурі ґрунту, що зменшує біорізноманіття [1].

Вивчення виду в умовах інтродукції як ергазіофіта потребує роз’яснювальної роботи серед студентів і місцевого населення щодо його використання в озелененні населених місць. Ретельний моніторинг лучних територій призведе до збереження біорізноманіття та довкілля в цілому.

Список літератури:

1. Золотарник канадський — рослина-агресор. 26.05.2021. URL: https://www.rivneprod.gov.ua/2021/05/26/zolotarnyk-kanadskyj-roslyna-agresor/ (дата звернення 28.09.2026)
2. Золотушник Канадський (*Solidago canadensis* L.) https://www.inaturalist.org/observations?subview=table&taxon_id=67808&user_id=tetianamamchur&verifiable=any (дата звернення 28.09.2026)
3. Мамчур Т.В., Чорна Г.А., Парубок М.І. Свистун О.В., Михайлова Н.В. Каталог рослин ботанічного розсадника Уманського національного університету садівництва. Довідниковий посібник. Умань: Видавець: «Сочинський М.М.». 2023. С. 29.

ГУЛЕВЕЦЬ Д.В., СИНИЛО К.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО СКРИНІНГОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗАПАХОВОГО ВПЛИВУ МОЛОЧНО-ТОВАРНИХ ФЕРМ, ПОЄДНАНИХ З БІОГАЗОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Міжрегіональна академія управління персоналом, 03039, Україна, м. Київ, вул. Фрометівська, 2, iapm@iapm.edu.ua
Національний університет «Київський авіаційний інститут», 03058, Україна, м. Київ, пр. Гузара Любомира 1, post@kai.edu.ua

Abstract. A screening approach for assessing odour impacts of integrated dairy farms and biogas complexes at the project design stage is proposed. The method combines source inventory, odour balance development, scenario analysis of mitigation measures, and preliminary dispersion modelling. Its application showed that more than 99% of total odour emissions come from cattle housing and manure management, while a sealed biogas complex contributes little. BAT-based organisational measures may reduce the overall odour load by about 25%. This approach can be used in environmental impact assessment and early-stage project planning.

Запахові викиди є одним із суттєвих екологічних чинників, що впливають на сприйняття населенням діяльності тваринницьких підприємств та об'єктів біогазового виробництва [2, 3, 8, 9]. На відміну від традиційних забруднюючих речовин, запах формується внаслідок комплексної дії значної кількості летких органічних і неорганічних сполук та може викликати дискомфорт навіть за відносно низьких концентрацій окремих компонентів [3, 8]. Особливо актуальним є прогнозування запахового впливу на стадії проєктування, коли виконання інструментальних вимірювань методом динамічної ольфактометрії ще неможливе [6]. У зв'язку з цим метою дослідження стала розробка методичного підходу до попередньої скринінгової оцінки запахового впливу інтегрованих молочно-товарних ферм і біогазових комплексів.

Запропонований підхід передбачає послідовне виконання інвентаризації та класифікації джерел запахових викидів, оцінювання їхньої інтенсивності, формування інтегрального запахового балансу підприємства, попереднє моделювання поширення запахових речовин та сценарний аналіз ефективності природоохоронних заходів. На відміну від традиційної інвентаризації викидів, у якій використовуються масові показники окремих забруднюючих речовин, запропонована методика базується на оцінюванні сумарної інтенсивності запаху, вираженої в європейських одиницях запаху за секунду (ouE/c). Це дає змогу кількісно порівнювати внесок різних технологічних процесів у загальне запахове навантаження підприємства [3, 6, 8].

Методику апробовано на прикладі виробничого комплексу, що включає діючу молочно-товарну ферму та проєктний біогазовий комплекс. Загальне поголів'я великої рогатої худоби становить 4221 голову, у тому числі 2637 дійних корів. Основною сировиною для виробництва біогазу передбачається рідкий гній ВРХ із використанням додаткових органічних субстратів. Анаеробне зброджування органічної сировини є одним із поширених способів її перероблення з одночасним виробництвом відновлюваної енергії [1, 7]. Основні технологічні вузли біогазового комплексу запроєктовані герметичними; рідка фракція дигестату зберігається в накритих лагунах, а тверда у закритому приміщенні.

Для корівників і системи поводження з гноєм інтенсивність запахових викидів визначали за питомими емісійними факторами з урахуванням поголів'я та живої маси тварин. Такий підхід широко застосовується під час оцінювання запахових викидів тваринницьких підприємств [2, 9]. Для герметичних технологічних вузлів біогазового комплексу розрахунок здійснювали за концентрацією запаху у вентиляційному або технологічному повітрі та витратою газоповітряної суміші. Вихідні концентрації запаху базувалися на літературних даних, отриманих із застосуванням динамічної ольфактометрії відповідно до EN 13725 [6]. Таким чином, було сформовано єдиний запаховий баланс, що охоплює як дифузні неорганізовані джерела тваринницького комплексу, так і локалізовані джерела біогазового виробництва.

За результатами розрахунків сумарна інтенсивність запаху від постійних джерел становила 342251 ouE/c. При цьому на корівники та систему поводження з гноєм припадає 99,76 % загального запахового навантаження, тоді як сумарна інтенсивність постійних технологічних джерел проєктованого біогазового комплексу становить лише 827 ouE/c, або близько 0,24 %. Такий результат

пояснюється герметизацією основних технологічних процесів, використанням закритих систем транспортування та зберігання субстратів і дигестату, а також накриттям лагун. Це узгоджується із загальним принципом, за яким належно спроєктоване анаеробне зброджування може зменшувати запаховий потенціал органічної сировини порівняно з її зберіганням у відкритому вигляді [1, 7].

Періодичні операції з перемішування та перекачування рідкої фракції дигестату можуть короткочасно підвищувати інтенсивність запаху, однак навіть за одночасного виконання такої операції максимальна сумарна інтенсивність становить 342751 ouE/c, тобто збільшення порівняно зі штатним режимом є незначним. Отже, саме процеси утримання тварин і поводження з гноєм, а не робота герметично виконаного біогазового обладнання, визначають загальну структуру запахового навантаження підприємства.

Для визначення потенціалу скорочення запахового впливу проведено сценарний аналіз природоохоронних заходів відповідно до принципів Best Available Techniques (далі – BAT). Розглядалися сценарії скорочення інтенсивності запахових викидів від корівників на 10, 25 та 50 %. За базового сценарію BAT зі зменшенням викидів від тваринницьких приміщень на 25 % сумарна інтенсивність запаху знижується до 256895 ouE/c, що відповідає скороченню загального запахового навантаження на 24,94 %. До відповідних заходів належать регулярне видалення гною, підтримання сухості підстилки, своєчасне видалення забрудненої соломи, оптимізація напування та годівлі тварин, скорочення часу перебування гною на відкритих поверхнях і підтримання належного санітарного стану приміщень.

Попереднє моделювання також показало значну залежність концентрації запаху від метеорологічних умов. За однакових інших параметрів на відстані 300 м розрахункова концентрація становила 145,3 ouE/м³ за швидкості вітру 2 м/с, 96,8 ouE/м³ за 3 м/с та 58,1 ouE/м³ за 5 м/с. Отже, збільшення швидкості вітру від 2 м/с до 5 м/с призводить до зниження розрахункової концентрації приблизно у 2,5 раза. Метеорологічні умови не змінюють структуру первинного запахового балансу: домінуючими джерелами залишаються корівники та система поводження з гноєм.

Таким чином, запропонований підхід дає змогу ще на етапі проєктування визначити основні джерела запахового навантаження, кількісно оцінити їхній внесок і порівняти ефективність альтернативних природоохоронних заходів. Практичне значення методики полягає у можливості її використання під час підготовки матеріалів оцінки впливу на довкілля, проєктування та реконструкції тваринницьких підприємств і попереднього формування програм моніторингу.

Методика має скринінговий характер і після введення об’єкта в експлуатацію потребує верифікації інструментальними вимірюваннями, зокрема методом динамічної ольфактометрії відповідно до EN 13725 та застосуванням повноцінних моделей атмосферного розсіювання.

Список літератури:

1. Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., & Janssen, R. (2008). *Biogas handbook*. University of Southern Denmark.
2. Blanes-Vidal, V., Guàrdia, M., Dai, X., & Nadimi, E. S. (2009). Emissions of NH_3, CO_2 and odor from pig houses and manure stores: A review. *Atmospheric Environment, 43*, 5070–5080.
4. Brancher, M., Griffiths, K. D., Franco, D., & de Melo Lisboa, H. (2017). A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere, 168*, 1531–1570.
5. European Commission. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs (IRPP BREF).* Publications Office of the European Union.
6. European Commission. (2018). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment.* Publications Office of the European Union.
7. European Committee for Standardisation. (2022). *EN 13725:2022. Stationary source emissions — Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour emission rate.* CEN.
8. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilisation. *Bioresource Technology, 100*, 5478–5484.
9. Nicell, J. A. (2009). Assessment and regulation of odour impacts. *Atmospheric Environment, 43*, 196–206.
10. Parker, D. B., Koziel, J. A., Cai, L., Jacobson, L. D., & Akdeniz, N. (2013). Odour and odorous chemical emissions from animal feeding operations. *Chemical Engineering Transactions, 40*, 7–12.

БЄЛОКОНЬ К.В.[1], МАЛЬОВАНИЙ М.С.[2], ВАГІН А.В.[1],
ГАЛИЧ А.В.[1] (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ, ЛЬВІВ)

ВПЛИВ ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ

[1]Запорізький національний університет
69600, вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна;
kv.belokon@gmail.com, vagin@ukrgrafit.com.ua
[2]Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.mal@gmail.com

Abstract. The specifics of environmental situation formation in the Zaporizhzhia region in 2025 under the combined impact of industrial pressure, military destruction of infrastructure, and climate factors (temperature records and precipitation deficits) were investigated. A quantitative assessment of pollutant emission dynamics from the main industrial polluters of the region is provided. It was established that the reduction in gross production volumes is negated by the degradation of treatment systems, violations of facility conservation regulations, and the intensification of dust emissions from tailings ponds. The shift in threats from systemic emission volumes to the risks of delayed environmental disasters and emergency emissions has been substantiated.

Запорізька область у 2025 році залишається стратегічним індустріальним вузлом України, попри екстремальні умови функціонування. Регіон площею 27,2 тис. км² (4,5% території країни), адміністративно поділений на 5 районів, історично характеризується «екстремальним антропогенним тиском» на атмосферне повітря та водні об'єкти. Цей тиск критично посилюється через поєднання системної деградації природних комплексів та воєнних руйнувань. Промислові об'єкти в цих умовах стають джерелами потенційних катастроф, де руйнування інфраструктури та порушення регламентів консервації створюють загрози, що виходять за межі локального забруднення. Екологічна ситуація у 2025 році додатково ускладнюється кліматичними аномаліями: рік увійшов у п'ятірку найтепліших з відхиленням температури на +1,6°C та дефіцитом опадів (лише 69% від норми). Зафіксовано 66 небезпечних метеорологічних явищ (НМЯ) та 2 стихійних метеорологічних явища (СМЯ). Зокрема, температурні рекорди та посуха (31% дефіциту опадів) провокують інтенсивне пилення хвостосховищ та відвалів, що в умовах війни унеможливлює стандартні заходи пилопригнічення.

Промисловий комплекс регіону у 2025 році представлений потужними вузлами чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної та нафтохімічної промисловості, а також великої енергетики. Відповідно до даних про обсяги виробництва, спостерігається вимушене скорочення потужностей металургійних та хімічних гігантів м. Запоріжжя. Проте, з погляду екологічного аудиту, це не веде до пропорційного зниження ризиків. Згортання виробництва за відсутності належної модернізації та в умовах застарілості систем консервації створює нові загрози. «Законсервовані» об'єкти без постійного моніторингу стають зонами відкладеного екологічного лиха. Деградація систем очистки стічних вод та атмосферних викидів на підприємствах, що працюють у нештатному режимі, нівелює ефект від зниження валових обсягів випуску продукції. Таким чином, техногенне навантаження залишається критичним, а фокус уваги зміщується з обсягів емісії на ризики раптових аварійних викидів через пошкодження або технологічну дестабілізацію застарілих фондів.

На підприємства чорної та кольорової металургії, хімії, машинобудування та харчової промисловості припадає приблизно 90% усіх промислових викидів регіону.

Динаміка викидів найбільших підприємств-забруднювачів у 2025 році (тис. т/рік) [1]:

- ПАТ «Запоріжсталь»: 48,999 тис. т (у 2024 р. – 47,559 тис. т);
- ПрАТ «Запоріжкокс»: 1,649 тис. т (у 2024 р. – 1,658 тис. т);
- АТ «Запорізький завод феросплавів»: 1,151 тис. т (у 2024 р. – 1,118 тис. т);
- ПрАТ «Запорізький абразивний комбінат»: 0,836 тис. т (у 2024 р. – 0,895 тис. т);
- ПрАТ «Запоріжвогнетрив»: 0,510 тис. т (у 2024 р. – 0,489 тис. т);
- ПрАТ «Український графіт»: 0,382 тис. т (у 2024 р. – 0,475 тис. т);
- АТ «Мотор Січ»: 0,228 тис. т (у 2024 р. – 0,244 тис. т);
- ПрАТ «Дніпроспецсталь»: 0,202 тис. т (у 2024 р. – 0,240 тис. т);
- ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»: 0,000 тис. т (діяльність зупинено).

Галузева специфіка забруднення у 2025 році демонструє поєднання традиційних техногенних чинників та наслідків воєнної деструкції:

- Гірничодобувна промисловість: основний вплив полягає у відчуженні земель під відвали та порушенні структури ґрунтів. У 2025 році критичним стало пилове забруднення відвалів, посилене рекордними температурами (до +37,3°C у липні) та суховійними явищами.

- Металургійна промисловість: залишається головним джерелом викидів в атмосферне повітря та скидів у басейн нижньої течії Дніпра. В умовах дефіциту водних ресурсів після руйнування Каховської ГЕС, стічні води металургійних підприємств мають підвищений токсичний вплив на екосистеми, що вже перебувають у стані стресу.

- Хімічна та нафтохімічна промисловість: формує стабільне токсичне навантаження через накопичення важких металів та агресивних сполук. Ризик пошкодження сховищ хімічних відходів через обстріли є одним із найвищих пріоритетів моніторингу.

- Харчова промисловість: створює надмірне навантаження на очисні споруди населених пунктів, значна частина яких пошкоджена або працює в умовах енергетичного дефіциту, що веде до погіршення мікробіологічного та хімічного стану поверхневих вод. Фокус екологічних програм 2025 року вимушено змістився на «поетапне зниження викидів від діючих джерел». В умовах війни радикальна модернізація обмежена, тому пріоритетом є підтримка хоча б існуючих очисних систем для недопущення переходу ситуації у фазу неконтрольованої катастрофи.

Управління промисловими відходами у 2025 році є ключовим фактором запобігання деградації земельного фонду та підземних вод. Накопичення шлаків, шламів та порожньої породи у поєднанні з токсичними залишками боєприпасів створює кумулятивний ефект отруєння ґрунтів важкими металами. Ефективність утилізації відходів у звітному періоді залишається низькою через логістичні розриви та зупинку низки переробних підприємств. Це посилює ризики деструкції земель, особливо в зонах, що прилегли до промислових майданчиків.

Попри воєнний стан, стратегічним вектором залишається впровадження найкращих доступних технологій та методів управління. Це є не лише вимогою майбутньої євроінтеграції, а й фундаментом для залучення міжнародних інвестицій у межах «Зеленого курсу» (Green Deal) Запорізької області. Реалізація природоохоронних заходів навіть у поточному режимі є критичною для національної безпеки. Верифікація збитків від пожеж, руйнування очисних споруд та забруднення ґрунтів паливно-мастильними матеріалами є необхідною для подальших міжнародних репарацій. Модернізація промисловості після війни повинна відбуватися не шляхом відновлення старих схем, а через повне технологічне переозброєння згідно з екологічними стандартами ЄС.

Стан довкілля Запорізької області у 2025 році характеризується як глибоко кризовий. Промислове забруднення, посилене рекордними кліматичними аномаліями (НМЯ та СМЯ), накладається на катастрофічні наслідки зневоднення після руйнування Каховської ГЕС, що формує умови для довгострокової екосистемної деградації.

Найкритичніші виклики для екологічного відродження:

1. Криза водопостачання та водовідведення: зміна гідрологічного режиму та забруднення басейну Дніпра стічними водами в умовах маловоддя.

2. Техногенно-радіаційне напруження: постійні загрози аварій на об’єктах підвищеної небезпеки (включаючи окуповану ЗАЕС).

3. Деструкція ґрунтового покриву: масштабне забруднення токсичними залишками війни та промисловими відходами.

Стратегічні пріоритети для «Зеленого відновлення»:

- Цифровізація моніторингу: впровадження автоматизованих систем контролю викидів на кожному промисловому джерелі.

- Водна безпека: стимулювання переходу підприємств на замкнуті цикли водопостачання для зменшення забору води з виснажених джерел.

- Технологічне переозброєння: жорстке впровадження стандартів найкращих доступних технологій та методів управління як обов’язкова умова відбудови зруйнованих об’єктів. Збереження промислового потенціалу Запорізького краю можливе лише через його повну екологічну трансформацію, де екологічна безпека стає невід'ємною частиною економічного виживання.

Список літератури:

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2025 році / Запорізька обласна державна адміністрація, Департамент захисту довкілля. Запоріжжя, 2026. 245 с. URL: https://www.zoda.gov.ua/news/80435/regionalna-dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovisha--zaporizkoji-oblasti-u-2025-rotsi-ta-ekologichniy-pasport-zaporizkoji-oblasti-za--2025-rik.html

Семінар 1 Seminar 1

ПЕРЕБИНОС А.Р. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ПЛАНІВ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ ІЄРАРХІЇ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Київський національний університет будівництва і архітектури
03037, просп. Повітряних Сил, 31, Київ, Україна; perebynos.ar@knuba.edu.ua

Abstract. Waste management plans in Ukraine define goals, measures, infrastructure, funding and monitoring for a resource-efficient transition, but their presence does not ensure that the waste management hierarchy is applied in practice. Strategic environmental assessment evaluates environmental effects rather than the practical priority of higher hierarchy levels. This study proposes a five-criteria approach to assess a plan's potential to implement each level: representation, relevance of measures, instruments, financing, and monitoring.

Перехід України до сталої моделі управління відходами передбачає не лише розвиток інфраструктури роздільного збирання, сортування та відновлення відходів, а й послідовне впровадження ієрархії управління відходами, визначеної Законом України «Про управління відходами» [1] та acquis ЄС. Її практична реалізація має забезпечувати пріоритет запобігання утворенню відходів, підготовки до повторного використання та рециклінгу над енергетичним відновленням та операціями видалення.

Ключовим інструментом розвитку регіональних та місцевих систем управління відходами є документи планування. Національний план управління відходами до 2033 року (НПУВ) було затверджено у 2024 році [2]. Відповідно до законодавства, регіональні плани управління відходами (РПУВ) мали бути розроблені протягом року після набрання ним чинності. Станом на вересень 2026 року (без урахування тимчасово окупованих територій — Донецької та Луганської областей, Автономної Республіки Крим та міста Севастополя) затверджені РПУВ мають 15 областей України та місто Київ. Шість областей — Вінницька, Миколаївська, Тернопільська, Харківська, Хмельницька та Чернівецька — перебувають на етапі розроблення проєктів РПУВ та проходження процедури стратегічної екологічної оцінки (СЕО). Щодо Сумської області відомості про розроблення чи внесення змін до РПУВ відсутні. Після набрання чинності РПУВ органи місцевого самоврядування мають один рік на розроблення та затвердження місцевих планів управління відходами (МПУВ).

Вищезгадані документи державного планування мають визначати цілі, завдання, заходи, інфраструктурні рішення, джерела фінансування, строки реалізації та показники моніторингу, потрібні для переходу до сталої та ресурсоефективної моделі управління відходами на місцях. Проте наявність усіх цих складових ще не означає, що план створює достатні умови для впровадження ієрархії управління відходами та принципів циркулярної економіки. Тому постає потреба в підході, який оцінює не лише формальну відповідність РПУВ і МПУВ нормативним вимогам та екологічні наслідки запланованих заходів, а й те, наскільки цілі, заходи, ресурси й показники плану узгоджені з практичним дотриманням пріоритетності рівнів ієрархії управління відходами.

Під час погодження проєкту РПУВ перевірка здійснюється двома центральними органами виконавчої влади — Міністерством економіки та довкілля та Міністерством з відновлення, інфраструктури та транспорту. Кожне міністерство протягом 30 календарних днів у межах своєї компетенції аналізує надані розробником матеріали, а саме: проєкт РПУВ, пояснювальну записку, звіт про СЕО та довідки про громадські обговорення й консультації.

Мінекономіки звіряє встановлення цільових показників РПУВ за роками з обов'язковим визначенням конкретних значень їх досягнення на останній рік реалізації плану та оцінює утворення локалізованих територій суміжних територіальних громад (кластери), які охоплені спільною системою управління відходами, мають взаємоузгоджену інфраструктуру та обслуговуються спільними об'єктами оброблення відходів. Мінрозвитку перевіряє формування локалізованих територій суміжних громад щодо спільної системи та інфраструктури управління саме побутовими відходами та аналізує бюджетне фінансування, а саме: заплановані обсяги та джерела фінансування завдань і заходів РПУВ за рахунок державного та місцевих бюджетів у частині управління побутовими відходами.

Якщо подані матеріали не відповідають вимогам законодавства, розробник отримує лист із обґрунтованими зауваженнями, які найчастіше стосуються таких питань:

- невідповідність цільових показників: неперенесення обов'язкових цільових показників із НПУВ або відсутність належного обґрунтування, якщо цільові показники занижені чи строк їх досягнення відстрочений;

- неефективне планування інфраструктури: спроби окремих громад планувати власні ізольовані об'єкти оброблення відходів замість формування спільних регіональних кластерів із взаємоузгодженою логістикою;
- нереалістичне фінансово-економічне забезпечення: необґрунтований розрахунок потреб у коштах, завищені або неузгоджені вимоги до державного бюджету, відсутність підтвердження фінансової спроможності місцевих бюджетів;
- зауваження до процедури СЕО та громадських обговорень: неповний склад звіту про стратегічну екологічну оцінку, порушення строків проведення консультацій з органами довкілля та здоров'я або неналежне оформлення довідок про врахування пропозицій громадськості;
- порушення структури та вимог до розділів: відсутність обов'язкових розділів або графічних/табличних додатків, передбачених Вимогами до розділів проєкту РПУВ [3].

У свою чергу, процедура СЕО дає змогу визначити та оцінити потенційні екологічні наслідки реалізації плану, розглянути альтернативи й перевірити врахування екологічних цілей. Аналіз звітів про СЕО, затверджених РПУВ, показав, що ієрархію управління відходами фактично враховують під час оцінювання документів планування.

Отже, наявні процедури оцінювання планів управління відходами дають змогу визначити екологічні наслідки передбачених заходів і враховують ієрархію під час характеристики цілей, заходів та очікуваних результатів. Водночас вони не формують окремої системи оцінювання того, наскільки план забезпечує практичну пріоритетність вищих рівнів ієрархії управління відходами, з огляду на узгодженість цілей, заходів, інструментів, інфраструктури, фінансових ресурсів і показників моніторингу.

Для усунення виявленої прогалини запропоновано підхід до оцінювання потенціалу плану щодо реалізації кожного рівня ієрархії управління відходами. Оцінювання здійснюється за п'ятьма основними критеріями:

1. Повнота представлення — кількість та частка завдань і заходів, віднесених до відповідного рівня ієрархії.
2. Відповідність заходів сутності рівня ієрархії — визначення того, чи мають передбачені заходи прямий чи опосередкований зв'язок з реалізацією відповідного рівня.
3. Типи інструментів реалізації — визначення використаних нормативно-правових, організаційних, інфраструктурних, економічних та інформаційно-просвітницьких інструментів.
4. Фінансове забезпечення — наявність визначених джерел та/або обсягів фінансування.
5. Моніторинг виконання — наявність кількісних або якісних індикаторів, за якими може оцінюватися виконання відповідних завдань і заходів.

Одне завдання або захід може бути віднесено до кількох рівнів, якщо його зміст і очікуваний результат стосуються кожного з них. Щоб запобігти формальному завищенню представленості певного рівня ієрархії, враховуються прямий і опосередкований вплив заходу на його імплементацію.

Підхід дає змогу виявити дисбаланс між рівнями та перейти від питання, чи згадано рівень у плані, до питання, якими механізмами план забезпечує його реалізацію. Подальший розвиток підходу передбачає зіставлення частки фінансування та потужностей інфраструктури за рівнями ієрархії й потоками відходів, що дасть змогу виявити пріоритети плану, менш очевидні за кількістю заходів. Запропонований підхід доповнює наявні процедури оцінювання планів, не дублюючи їх: він визначає, наскільки план створює передумови для практичної реалізації вищих рівнів ієрархії управління відходами.

Список літератури:

1. Верховна Рада України. (2022, 20 червня). *Про управління відходами* (Закон України № 2320-IX). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text
2. Кабінет Міністрів України. (2024, 27 грудня). *Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів* (Розпорядження № 1353-р). https://zakon.rada.gov.ua/go/1353-2024-%D1%80
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2024, 22 січня). *Про затвердження Вимог до розділів проєкту регіонального плану управління відходами* (Наказ № 81). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0178-24#Text

БУШУЄВ Д.В. (УКРАЇНА, ОДЕСА)

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В КОНТЕКСТІ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ УРБОСИСТЕМ: ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
65082, вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, Україна; danilbgm20@gmail.com

Abstract. Cities are regarded by modern researches not only as objects within larger components of a greater system, but also as open systems on their own, which include properties of self-organization and interaction among their internal components. These interactions within the urban system are consisted of technosphere, sociosphere and urban ecosystems, which are managed and corelate within the urban processes. This raises questions regarding the strategic management of urban systems, which needs to be modernized and can be examined through system analysis.

Антропогенна діяльність в межах міст має негативний вплив на природні об'єкти та біорізноманіття. Варто зазначити, що це також впливає на приміські природні зони. Також це призводить до соціально-економічного напруження в межах міста.

Незважаючи на значні досягнення в оцінці та визначенні ступеня ефективності та впливу, багато організацій з охорони довкілля досі мають труднощі при визначенні того, що з них працює, що слід вдосконалити, а що змінити. При цьому існують невирішені питання в межах системного аналізу в екологічному управлінні, через що відбуваються затримки його практичного впровадження.

Наведені вище факти свідчать про необхідність модернізації наявних системних заходів. При цьому варто зазначити, що сучасні методи оцінки та визначення ступеня ефективності екологічного управління мають враховувати кризовий стан внаслідок антропогенного впливу на природні складові міста.

Системний аналіз передбачає представлення та розгляд досліджуваної проблеми як системи для подальшого його відображення за допомогою інформаційних даних. Варто зазначити, що він також спрямований на вирішення практичних проблем.

В цьому випадку розглядаються міста як системи, тобто урбосистеми, в межах яких взаємодіють такі його складові, та діяльність суспільства в його межах: техносфера – об'єкти діяльності суспільства, які, зазвичай, задовольняють його потреби та негативно впливають на довкілля; соціосфера – населення та його діяльність; урбоекосистеми – природні/зелені зони в межах міста.

Складні взаємозв'язки між зазначеними вище складовими урбосистеми викликають необхідність у впровадженні нових методів оцінювання стану довкілля, які мають відбуватися за допомогою системно обґрунтованих управлінських рішень. З соціально-економічних аспектів сталого розвитку урбосистеми, при системному аналізі важливо враховувати екологічні знання управлінців та їхню міждисциплінарну компетентність.

Перевага системного аналізу виявляється у здатності трансформувати методи управління від реагуючих до прогнозуючих, що сприятиме інтегрованій взаємодії між системами управління та матиме здатність забезпечувати процеси сталого розвитку. Іншими словами, він має здатність не тільки впорядковувати екологічні рішення, але й забезпечувати ефективну інтеграцію кількісних критеріїв оцінки з якісними.

З точки зору соціальних аспектів сталого розвитку урбосистем, метою впровадження системного аналізу є сприяння організації суспільних дій в сторону сталого економічного розвитку, за яким у першу чергу розглядатиметься необхідність збереження довкілля.

Одним з ефективних інструментів створення системних рішень в сфері сталого розвитку урбосистем є відкриті стандарти практики збереження природи (Open Standards), які розроблені Партнерством з питань природоохоронних заходів (Conservation Measures Partnership – CMP) з метою допомогти організаціям з охорони довкілля реалізувати і успішно втілити проєкти з охорони довкілля за допомогою таких п'ятьох циклічних етапів:

1. «*Оцінка* (*Assess*)» – включає в собі формулювання головних складових майбутнього проєкту: його мету, сферу застосування та географічні межі; складу команди, включаючи залучення учасників; оцінку загального стану екологічної ситуації та можливих негативних впливів з боку техносфери міста;
2. «*Планування* (*Plan*)» – включає в собі розробку основних компонентів плану з охорони довкілля, включаючи подальшу роботу з результатами попереднього етапу, тобто «*Оцінки*», для розгляду способів реалізації проєкту та розробки стратегічного плану, який включатиме способи моніторингу стану довкілля і уточнення інформаційних показників та потреб;

3. «*Впровадження* (*Implement*)» – передбачає застосування проєктного управління для реалізації плану, вдосконалення бюджету, матеріально-технічної бази, здобутих знань та навичок, а також способів залучення партнерів;

4. «*Аналіз та адаптація* (*Analyze and Adapt*)» – включає процеси накопичення та аналізу даних, для перетворення їх на інформацію, і адаптацію планів та бюджету. Аналізу найбільше потребують такі дані: результати попередніх етапів проєкту; основні способи реалізації; ризики; фінансові показники; відгуки та скарги залучених до проєкту партнерів. Результати цього етапу стануть основою для подальших дій в межах проєкту;

5. «*Поширення* (*Share*)» – передбачає, документацію результатів, процеси сприяння екологічному навчанню і обміну досвідом та матеріалами серед партнерів, разом із зворотним зв'язком. Головною метою цього етапу є перетворення результатів попередніх етапів на підґрунтя для наступних дій в межах проєкту і сприяння процесів екологічного навчання серед його учасників та, загалом, у спільноті з охорони довкілля.

Перелічені вище п'ять етапів втілення проєкту з охорони довкілля свідчать про те, що використання системного аналізу надає можливість розподілити проєкт на етапи, які включають в собі процеси аналізу його структури, модернізації поточного алгоритму дій та синтез сучасних концепцій з охорони довкілля. Цей метод має можливість сприяти процесам модернізації стратегічного екологічного управління урбосистемою.

Для підвищення ефективності стратегічного екологічного управління урбосистемою необхідно впровадити відповідні до основних аспектів сталого розитку дії: оцінити та впливати на якість природних складових урбосистеми (екологічний аспект); запровадити управління ризиками та інтерактивні системи для активної участі громад у процесах прийняття рішень (соціально-економічних аспект), стимулювати сталість через запровадження законодавчих та економічних обмежень (економіко-правовий аспект).

Враховуючи наведені вище факти, у контексті активних процесів урбанізації та антропогенного впливу на довкілля за допомогою системного аналізу у стратегічному управлінні урбосистемами можливою стає розробка плану сталого розвитку та збалансованого природокористування і інтеграція екологічних ідей у стратегії соціально-економічного розвитку міст.

Впровадження стратегічного екологічного управління в межах урбосистем нині вимагає перегляду та модернізації окремих науково-практичних підходів із залученням методів системного аналізу, адже це надасть змогу підвищити ефективність процесів екологічного управління та сприятиме сталому розвитку урбосистем, збалансованому природокористуванню та зменшенню антропогенного навантаження на довкілля.

Список літератури:

1. Душечкіна Н.Ю. (2025) Системний аналіз якості довкілля як інструмент екологічного управління. *Український журнал природничих наук*, № 12. С. 353-360.

2. Сафранов Т.А., Адаменко Я.О., Приходько В.Ю., Шаніна Т.П., Чугай А.В., Колісник А.В. (2015) *Системний аналіз якості навколишнього середовища*. ОДЕКУ, ІФНТУНГ. Одеса. 244 с.

3. Open Standards for the Practice of Conservation. Version 5.0 (2025). 94 pp.
URL: https://www.conservationstandards.org/ (дата звернення : 29.09.2026)

KRASOVSKYI V.[1], MEZHENSKYJ V.[2], HLUSHCHENKO L.[3],
SHKURA T.[4] (*UKRAINE, KHOROL, KYIV, POLTAVA*)

INTRODUCTION OF FRUIT AND MEDICINAL CROPS IN THE LEFT-BANK DNIEPER REGION AS AN ELEMENT OF AGRICULTURAL DIVERSIFICATION UNDER CLIMATE CHANGE

[1] Horol Botanical Garden, 1/79 Kremenchutska St., Khorol, Poltava Region, 37800, Ukraine,
[2] National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine
[3] Research Station of the Medicinal Plants of the Institute of the Agroecology and Environmental Management of NAAS, 16A Pokrovska St., Berezotocha, Poltava Region, 36535, Ukraine
[4]Poltava National Pedagogical University named after V.G. Korolenko,
2 Ostrohradskoho St., Poltava, 36000, Ukraine,
horolbotsad@gmail.com, rector@nubip.edu.ua, ukrvilar@ukr.net, ecos.poltava2015@gmail.com

Abstract. The introduction of non-traditional fruit and medicinal crops into the Left-Bank Dnieper region is considered as a component of agricultural diversification under climate change. The study evaluated 33 species of polycarpic fruit plants representing 26 genera, 18 families, and 11 orders. Sixteen species demonstrated adaptation to local conditions, while nine species were successfully introduced into cultivation. Several promising species have reached the generative phase under favourable regional microclimatic conditions and appropriate winter protection. The introduction of adapted crops can broaden the regional assortment and contribute to the resilience of local agroecosystems. The results demonstrate the feasibility of establishing adapted introduction populations with high genetic potential without apparent adverse effects on local ecosystems during the study period.

The introduction of new fruit and medicinal crops from southern to the northern regions is an important area of experimental botany that contributes to expanding cultivated plant diversity, enhancing adaptive potential, and supporting the development of resilient forms and cultivars under climate change. In the Poltava Region, primary research on the introduction of fruit and medicinal plants in the open ground is conducted at the Horol Botanical Garden and the Research Station of Medicinal Plants.

Currently, 33 species of the polycarpic fruit plants belonging to 26 genera, 18 families, and 11 orders are under evaluation. Sixteen species adapted to the local conditions have been identified, though they require cultivar and form selection: *Cornus kousa* F. Bürger ex Hance (*Cornaceae*), *Diospyros virginiana* L. (*Ebenaceae*), *Corylus avellana* L. (*Betulaceae*), *Asimina triloba* (L.) Dunal (*Annonaceae*), *Elaeagnus multiflora* Thunb. and *Elaeagnus umbellata* Thunb. (*Elaeagnaceae*), *Ziziphus jujuba* Mill. (*Rhamnaceae*), *Chaenomeles ×californica* W. B. Clarke ex Weber, *Cormus domestica* (L.) Spach, *Crataegus germanica* (L.) Kuntze, *Cydonia oblonga* Mill., *Prunus armeniaca* L., and *Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai (*Rosaceae*), *Pistacia vera* L. (*Anacardiaceae*), *Lycium barbarum* L. and *Lycium chinense* Mill. (*Solanaceae*). Nine species have been successfully introduced into cultivation: *Actinidia chinensis* Planch. (*Actinidiaceae*), *Diospyros lotus* L. (*Ebenaceae*), *Laurus nobilis* L. (*Lauraceae*), *Passiflora incarnata* L. (*Passifloraceae*), *Punica granatum* L. (*Lythraceae*), *Ficus carica* L. and *Maclura tricuspidata* (Carrière) Bureau (*Moraceae*), *Prunus amygdalus* Batsch (*Rosaceae*), and *Citrus trifoliata* L. (*Rutaceae*). Additionally, promising introduction targets include *Camellia sinensis* (L.) Kuntze (*Theaceae*), *Olea europaea* L. (*Oleaceae*), *Feijoa sellowiana* (O. Berg) O. Berg (*Myrtaceae*), *Hovenia dulcis* Thunb. (*Rhamnaceae*), *Crataegus azarolus* L. and *Crataegus opaca* Hooker & Arn. (*Rosaceae*), *Citrus ×sinensis* (L.) Osbeck and *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. (Rutaceae).

The establishment and overwintering of tender species (such as *Actinidia chinensis*, *Citrus ×sinensis*, *Olea europaea*, *Laurus nobilis*, *Punica granatum*, *Feijoa sellowiana*, *Ficus carica*, and *Zanthoxylum bungeanum)* are achieved through canopy management, low-growing bush forms, and winter protection measures against freezing and spring frosts. Regional microclimatic conditions have enabled *Passiflora incarnata*, *Ficus carica*, *Maclura tricuspidata*, *Prunus amygdalus*, *Prunus armeniaca*, *Pistacia vera*, and *Zanthoxylum bungeanum* to reach the generative phase in recent years.

Integrating fruit and medicinal crops into amateur and commercial horticulture enriches local agroecosystems and broadens the regional crop assortment through diversification of cultivated species. The inclusion of species adapted to changing local climatic conditions may reduce reliance on a limited range of traditional crops and thereby contribute to greater resilience to environmental stress under ongoing climate change. The household cultivation of *Diospyros virginiana*, *Asimina triloba*, and *Ziziphus jujuba* provides locally produced fruits rich in biologically active compounds. These findings indicate the feasibility of establishing adapted introduction populations with high genetic potential, with no apparent adverse effects on local ecosystems observed during the study period.

БАЛАБАК А.В., БАЛАБАК О.О. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ В ОПТИМІЗАЦІЇ УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ

Уманський національний університет
20301, вул. Інститутська, 1, Умань, Україна; alla.balabak@unu.edu.ua

Abstract. The paper examines the ecological role of four tree species growing under different levels of anthropogenic pressure in Uman. Dust accumulation on leaves and needles and changes in phytoncide activity during the day were studied. Roadside trees accumulated more dust than plants growing in the relatively clean area. The highest phytoncide activity was mainly recorded at midday, with spruce showing the most stable values. The obtained results indicate that a combination of deciduous and coniferous species can contribute to the ecological improvement of urban green spaces.

Урбанізаційні процеси істотно змінюють природні умови існування рослин. Збільшення площі забудови, транспортне навантаження та зростання кількості техногенних чинників позначаються на стані міських екосистем. У таких умовах змінюються мікрокліматичні показники, погіршується стан ґрунтів, збільшується концентрація пилу в повітрі та створюються додаткові стресові умови для рослин. Одночасно скорочується площа природних угруповань і порушуються сформовані взаємозв'язки між окремими компонентами міських екосистем.

Деревні насадження є одним із найбільш помітних компонентів міської зеленої інфраструктури. Їх значення пов'язане не лише з формуванням озеленених територій. Дерева затримують частину пилових частинок, впливають на мікроклімат, беруть участь у газообміні та створюють умови для функціонування інших компонентів міських екосистем. Тому оцінювання екологічних властивостей окремих деревних видів має практичне значення для добору рослин під час створення та реконструкції міських насаджень.

Дослідження проводили в умовах міста Умань. Для порівняння було обрано чотири види дерев: клен гостролистий (Acer platanoides L.), липу серцелисту (Tilia cordata Mill.), ліщину горіхову (Corylus colurna L.) та ялину колючу (Picea pungens Engelm.), блакитну форму. Вибір цих видів зумовлений їх поширенням у зелених насадженнях міста та відмінностями у будові листків і хвої.

Спостереження проводили у двох точках, які відрізнялися умовами зростання рослин. Моніторингову точку №1 розміщували на території аграрного кампусу Уманського національного університету. Цю ділянку використовували як умовно чисту. Моніторингову точку №2 було закладено вздовж вул. Київської, де рослини зазнають більшого впливу транспортного потоку та пов'язаного з ним забруднення. Порівняння цих ділянок дало можливість оцінити, наскільки змінюються окремі екологічні характеристики дерев залежно від умов їхнього зростання.

Одним із показників, за яким можна оцінити екологічну роль дерев у місті, є кількість пилу, що затримується на поверхні листків або хвої. Листкова поверхня безпосередньо контактує з атмосферним повітрям, тому частина твердих частинок осідає на ній і певний час утримується рослиною. На величину пилоутримання впливають як концентрація пилу в повітрі, так і будова асиміляційного апарату конкретного виду.

Проведене порівняння показало, що в придорожніх насадженнях кількість пилу на поверхні рослин була більшою, ніж на ділянці з нижчим антропогенним навантаженням. Для клена гостролистого (Acer platanoides L.) цей показник становив 0,6 г/см² уздовж міської дороги та 0,3 г/см² у контрольній зоні. У липи серцелистої (Tilia cordata Mill.) відповідно було зафіксовано 0,9 і 0,6 г/см². Таким чином, різниця між двома умовами зростання була помітною для обох видів, а найбільше значення серед наведених показників отримано для липи.

Ліщина горіхова (Corylus colurna L.) також характеризувалася здатністю накопичувати значну кількість пилових частинок. Це може бути пов'язано з розміром листкової поверхні та її будовою. Для ялини колючої (Picea pungens Engelm.) характер накопичення пилу дещо інший. Хвоя має меншу площу окремого асиміляційного органа, тому кількість пилу, що утримується на ній, була нижчою. Разом із тим ялина має важливу особливість – її хвоя зберігається протягом року. Отже, екологічна роль цього виду не обмежується одноразовим або сезонним періодом функціонування листкового апарату.

В умовах підвищеного забруднення було відзначено також зменшення площі листків. Таку реакцію можна пов'язувати з впливом несприятливих факторів середовища. За тривалого стресового впливу рослина змінює характер росту та функціонування, що може проявлятися, зокрема, у

морфологічних особливостях листкового апарату. Водночас для підтвердження конкретного механізму такої реакції необхідні додаткові дослідження.

Отримані результати показують, що листяні дерева, особливо липа та клен, мають значний потенціал щодо затримання пилу в умовах міської забудови. Ялина колюча має інші переваги, пов'язані з тривалішим періодом функціонування хвої. Тому оцінювати екологічну ефективність цих видів доцільно не за одним показником, а з урахуванням комплексу їхніх властивостей.

Іншим показником, який використовували під час оцінювання екологічних властивостей дерев, була фітонцидна активність. Спостереження проводили 20.07.2025 р. протягом дня у двох моніторингових точках. Одночасно враховували зміни температури повітря, що дало змогу простежити співвідношення між температурними умовами та активністю рослин.

У ранкові години, з 6:00 до 8:00, фітонцидна активність у досліджуваних видів була невисокою. У цей час температура повітря становила 18–23 °C. Після 10:00 показники почали зростати. Це відбувалося паралельно з підвищенням температури та переходом рослин до більш активної фази денного функціонування.

Найвищі значення для більшості видів припадали на 12:00–14:00, коли температура повітря становила 29–31 °C. Після цього періоду активність поступово зменшувалася. Найбільш помітно така зміна проявлялася у листяних порід.

Між видами спостерігалися певні відмінності. Найвищі показники протягом періоду спостережень були характерні для ялини колючої (Picea pungens Engelm.). Її показники змінювалися менш різко, ніж у частини листяних видів. Липа серцелиста (Tilia cordata Mill.) також характеризувалася високою фітонцидною активністю, хоча протягом дня її значення змінювалися більш помітно. Клен гостролистий (Acer platanoides L.) займав проміжне положення, а найнижчі показники були характерні для ліщини горіхової (Corylus colurna L.).

Помітна різниця між двома моніторинговими точками була встановлена для всіх досліджуваних видів. У зоні з підвищеним антропогенним навантаженням фітонцидна активність була нижчою. Отже, несприятливі умови міського середовища можуть позначатися не тільки на зовнішньому стані рослин, а й на інтенсивності їх фізіологічних процесів.

У забрудненій зоні максимальні значення також переважно припадали на середину дня. Для більшості листяних порід найвищий показник спостерігався близько 12:00. Подальше підвищення температури до 31 °C супроводжувалося невеликим зниженням активності. Це може бути пов'язано з реакцією рослин на підвищене теплове навантаження. У ялини колючої максимум був більш тривалим і стабільним, що свідчить про меншу залежність її показників від короткочасних температурних змін.

Таким чином, результати спостережень свідчать про те, що екологічні властивості деревних насаджень залежать як від видових особливостей рослин, так і від умов їхнього зростання. У придорожній зоні дерева накопичували більше пилу, одночасно демонструючи нижчі показники фітонцидної активності. Це вказує на відмінності у функціонуванні рослин за різного рівня антропогенного навантаження. Під час формування міських зелених зон доцільно враховувати не лише декоративні характеристики дерев, а й їхню здатність виконувати екологічні функції. Використання різних за біологічними властивостями видів дає можливість поєднати кілька напрямів позитивного впливу рослин на міське середовище. Зокрема, листяні породи можуть забезпечувати значне затримання пилу, а хвойні – підтримувати функціонування зеленого покриву протягом тривалішого періоду. Такий підхід сприяє формуванню більш різноманітних і функціонально збалансованих міських насаджень.

ШАМРО Н.Р., ЄРГУНЬОВА М.З., ГОРДІЄНКО В.М. (УКРАЇНА, БРОДИ)

КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ»

Національний природний парк «Північне Поділля»
80600, вул. Гончарська 15А, м. Броди, Львівська область; park_pp@ukr.net

Abstract. The paper presents the role of comprehensive monitoring of natural ecosystems in the conservation of biodiversity within the Northern Podillia National Nature Park. The monitoring covers protected areas representing forest, meadow-steppe, aquatic and other natural ecosystems. Regular observations provide data on the current state of natural complexes and their components. The results of monitoring are annually summarized in the Chronicle of Nature, which ensures the systematic accumulation of scientific data. Long-term observations make it possible to identify changes in ecosystems and provide a scientific basis for planning biodiversity conservation measures.

Одним із пріоритетних напрямків роботи установ природно-заповідного фонду є збереження біорізноманіття, для реалізації якого важливо проводити систематичний моніторинг природних комплексів. Регулярні спостереження дають можливість накопичувати відомості як про стан екосистем так і їх окремих компонентів. Також важливо простежувати зміни, що відбуваються в природному середовищі й сформувати основу для прийняття обґрунтованих природоохоронних рішень.

Територія Національного природного парку «Північне Поділля» характеризується значним різноманіттям природних комплексів. До його складу та зони природоохоронної діяльності включено цінні території та об'єкти природно-заповідного фонду Золочівського району Львівської області. Вони представлені лісовими, лучно-степовими, гідрологічними та іншими природними екосистемами. Така представленість різноманіття території зумовлює необхідність комплексного підходу до організації моніторингових досліджень.

Метою досліджень науковців НПП «Північне Поділля» є узагальнення результатів комплексного моніторингу природних екосистем установи та визначення його ролі у виявленні змін в природних комплексах, оцінка стану їх компонентів і формуванні наукових засад збереження біорізноманіття.

На сьогодні комплексним моніторингом охоплено такі природоохоронні території нацпарку: ботанічна пам'ятка природи загально-державного значення «Лиса Гора та гора Сипуха», комплексна пам'ятка природи, теж загально-державного значення, «Гора Вапнярка» та ботанічний заказник місцевого значення «Макітра», гідрологічний заказник «Пониківський», комплексних пам'ятках природи «Триніг», «Пам'ятка Пеняцька», «Жулицька гора» (гора Сторожиха, гора Висока), «Підлиська гора» (гора Маркіяна Шашкевича), «Свята Гора», ландшафтному заказнику «Верхобузький». Окрім цього, моніторингові спостереження проводяться у таких лісових масивах як заповідне урочище «Ліс під Трудовачем», лісовому заказнику «Підкамінь», ботанічній пам'ятці природи «Сасівська».

Мережа моніторингових ділянок НПП «Північне Поділля» охоплює території з різними типами природних екосистем та відмінними екологічними умовами. Лучно-степові комплекси представлені цінними рослинними угрупованнями, де ростуть раритетні видів рослин та мешкають рідкісні види комах.

Значну частину моніторингової мережі нацпарку становить горбисто-пасмова територія Гологоро-Вороняцького кряжу до якої належать «Жулицька гора», «Підлиська гора», «Свята Гора», «Лиса Гора та Гора Сипуха», «Гора Вапнярка»... Для цих територій характерне поєднання лісових і відкритих природних комплексів, що сприяє формуванню різноманітних умов існування рослинного і тваринного світу.

У свою чергу гідрологічний заказник «Пониківський» репрезентує прибережні природні водні комплекси і має важливе значення для збереження біоти регіону.

Комплексний моніторинг природних екосистем НПП «Північне Поділля» проводиться з перших днів створення Парку. Упродовж років досліджень в установі, спостереженнями охоплено всі природоохоронні території та об'єкти й здійснено більше сотні моніторингових обстежень. Спостереження проводили на як на постійних маршрутах, так і пробних площах різного призначення. Основну увагу науковці НПП «Північне Поділля» та залучені спеціалісти приділяли рослинному покриву, тваринному світу, фенологічним змінам та рідкісним видам.

Результати проведених досліджень щорічно систематизуються та узагальнюються у щорічних Літописах природи НПП «Північне Поділля», де зібрані матеріали моніторингових спостережень за станом природних екосистем, дані про видовий та кількісний склад рослинного і тваринного світу парку та інше. Таке ведення Літопису природи забезпечує послідовне накопичення наукової інформації. Це створює основу для порівняння результатів спостережень за різні роки та аналізу змін на території нацпарку.

Таким чином, комплексний моніторинг має важливе практичне значення, а отримані дані дають змогу визначати території, які потребують особливої природоохоронної уваги та обґрунтовувати відповідні заходи. Систематичне проведення повторних спостережень дозволить оцінити характер і спрямованість змін у природних екосистемах та забезпечити збереження біорізноманіття НПП «Північне Поділля».

VOJTECH F.[1], SLOBODNÍKOVA M.[2], ARPAŠ M.[3],
GREŠO Š.[4] (SLOVAK REPUBLIC, BRATISLAVA)

DECOUPLING ECONOMIC GROWTH FROM ENERGY CONSUMPTION AND EMISSIONS IN EU INDUSTRY A MULTI-SECTOR PANEL ANALYSIS OF 27 COUNTRIES AND 19 MANUFACTURING SECTORS

[1]University of Economics and Management, Furdekova 16, 851 04 Bratislava, Slovak Republic
[2]Green ProcurEx s.r.o., Dobrovicova 120/4, 811 02, Bratislava, Slovak Republic
[3]University of Economics and Management, Furdekova 16, 851 04 Bratislava, Slovak Republic
[4]University of Economics and Management, Furdekova 16, 851 04 Bratislava, Slovak Republic

Abstract. This article analyses the extent to which growth in economic output was decoupled from energy consumption and greenhouse gas emissions in the manufacturing sector of the European Union between 2014 and 2023. The analysis covers the 27 EU Member States and 19 manufacturing sectors in Section C according to the NACE Rev. 2 classification. The data used are drawn from Eurostat's air emissions inventories, physical energy flow accounts and national accounts. Economic performance is expressed in terms of real gross value added.

Decoupling was assessed using Tapio elasticity, calculated as the ratio of the relative change in the environmental indicator to the relative change in real gross value added. When classifying individual cases into decoupling categories, the direction of change in both variables and elasticity thresholds of 0.8 and 1.2 were taken into account. Calculations were carried out for three sub-periods and subsequently for the entire period 2014–2023. The second part of the analysis consists of a logarithmic panel model with fixed effects for the country–sector combination and with annual effects. The regression dataset contains 4,757 observations. Standard errors were clustered at the country–sector level. Mundlak's test supported the use of a fixed-effects model over a random-effects model ($p < 0.001$).

Over the entire period under review, real gross value added increased in 306 country–sector combinations. Of these, 60.8 per cent achieved strong decoupling of emissions and 23.5 per cent achieved weak decoupling. In terms of energy consumption, the proportion of strong decoupling was 48.4 per cent and that of weak decoupling was 31.7 per cent. The panel model demonstrated a positive relationship between emissions and energy consumption ($\beta = 0.261$; $p = 0.003$) and, simultaneously, between emissions and real gross value added ($\beta = 0.098$; $p = 0.030$). Under the logarithmic specification of the model, this means that a 1 per cent increase in energy consumption, all other things being equal, was associated with an approximate 0.26 per cent rise in emissions, whilst a 1 per cent increase in real gross value added was associated with an approximate 0.10 per cent rise in emissions. The decoupling analysis thus showed that, in growing manufacturing sectors, economic performance was more frequently decoupled from emissions than from energy consumption itself.

ХОМЕНКО О.М., ІВАНОВ М.О. (УКРАЇНА, ЧЕРКАСИ)

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Черкаський державний технологічний університет
18006, бульв. Шевченка, 460, Черкаси, Україна; o.khomenko@chdtu.edu.ua

Abstract. The data from the state monitoring system of surface waters in Cherkasy Region were analyzed, and the results of assessing the ecological status of water bodies within the Dnipro River basin were summarized based on biological quality elements. The need to improve the regional water monitoring system was substantiated, including the expansion of the monitoring network, the implementation of system GIS technologies, and the integration of data on the quality status of water bodies into a unified information and analytical system.

Державний контроль за станом поверхневих вод України здійснюється на основі басейнового підходу, який передбачає проведення діагностичного, операційного та дослідницького моніторингу. Відповідно до Програми державного моніторингу вод на 2026 рік спостереження охоплюють сім річкових басейнів та 553 пункти, що характеризує значний масштаб систематичного контролю за станом водних ресурсів країни [1]. На території Черкаської області у 2026 році спостереження за водними об'єктами у визначених контрольних створах здійснювали декілька установ, серед яких Регіональний офіс водних ресурсів у Черкаській області, Черкаський обласний центр з гідрометеорології тощо. Діагностичні спостереження в межах області проводилися у басейні р. Дніпро та охоплювали три водні об'єкти, на яких було визначено 3 пункти моніторингу. У межах операційного моніторингу дослідження здійснювалися на 7 водних об'єктах у 8 пунктах спостережень. Для інтегрованої оцінки екологічного стану водних масивів застосовано біологічні елементи якості, зокрема фітопланктон, мікрофітобентос, судинні рослини та донні макробезхребетні, що дає змогу оцінити не лише поточний рівень антропогенного навантаження, а й а й реакцію водних екосистем на його тривалий вплив (табл.1).

Таблиця 1

Екологічний стан водних об'єктів басейну Дніпра за біологічними елементами якості

Басейн/вид моніторингу	Водний об'єкт	Пункт моніторингу	Клас екологічного стану масиву поверхневих вод
Басейн річки Дніпро, діагностичний моніторинг	р. Рось	с. Михайлівка	2 клас (добрий)
	р. Хоробра	с. Заріччя	3 клас (середній)
	р. Ірклій	с. Лихоліти	2 клас (добрий)
Басейн річки Дніпро, операційний моніторинг	р. Дніпро (Кременчуцьке водосховище)	0,5 км нижче м. Канів	3 клас (середній)
	р. Дніпро (Кременчуцьке водосховище)	678 км, с. Сокирно (питний водозабір м. Черкаси)	2 клас (добрий)
	р. Рось (Корсунь-Шевченківське водосховище)	64 км, м. Корсунь-Шевченківський (питний водозабір)	2 клас (добрий)
	р. Перезовиця	у межах с. Стеблів	2 клас (добрий)
	р. Росава	3 км, с. Гамарня, Канівський район	2 клас (добрий)
	р. Вільшанка	у межах с. Мліїв	3 клас (середній)
	р. Золотоношка	18 км, с. Благодатне, Золотоніський район	2 клас (добрий)

Аналіз отриманих результатів свідчить, що за біологічними елементами якості досліджені водні об'єкти відповідають переважно 2 та 3 класам екологічного стану, що характеризуються певними відхиленнями від референційних умов. Екологічний моніторинг водних об'єктів області має розглядатися як комплексна система постійного спостереження, оцінювання та прогнозування змін водних екосистем**.** Подальше вдосконалення цієї системи доцільно спрямувати на розширення мережі спостережень, застосування ГІС-технологій та формування єдиної регіональної інформаційно-аналітичної бази даних, що дозволить підвищити ефективність управління водними ресурсами.

Список літератури:

1. Наказ Міністерства економіки, довкілля та сільського господарства України від 27.01.2026 №1250 «Про затвердження Програми державного моніторингу вод». Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/news/minekonomiky-zatverdylo-prohramu-derzhavnoho-monitorynhu-vod-na-2026-rik

АНТОНОВ М.Д., МАЛЬОВАНИЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ В ЄС ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Інститут хімії та хімічних технологій Національного університету «Львівська політехніка»
79013, пл. Св. Юра, 3/4, 8-й навч. корпус, Львів, Україна; ezp.dept@lpnu.ua

Abstract. The paper reviews recent EU approaches to biodiversity monitoring, driven by the Nature Restoration Regulation (EU) 2024/1991 and the emerging transnational system built on Essential Biodiversity Variables and the EU Biodiversity Observation Coordination Centre. Key technologies are analysed: environmental DNA and metabarcoding, Copernicus-based remote sensing, camera trapping and passive acoustic monitoring with AI-assisted species recognition. The gap between these standards and the framework Ukrainian procedure for biodiversity monitoring (2025) is identified, and a set of measures for piloting harmonised technological monitoring in the Ukrainian Carpathians is proposed.

Втрата біорізноманіття поряд зі зміною клімату є одним із ключових викликів сталого розвитку, однак ефективність природоохоронних рішень напряму залежить від якості даних, на яких вони ґрунтуються. Класичні методи спостережень (маршрутні обліки, ручне визначення видів, разові експедиційні обстеження) залишаються трудомісткими, фрагментарними у просторі й часі та більшою мірою залежать від навичок та досвіду виконавця, що ускладнює порівняння результатів між регіонами та країнами. Саме тому в Європейському Союзі (ЄС) протягом 2024–2026 рр. сформувалася нова парадигма моніторингу біорізноманіття – транснаціональна та стандартизована.

Нормативним рушієм змін став Регламент (ЄС) 2024/1991 про відновлення природи, який зобов'язує держави-члени вжити заходів з відновлення щонайменше 20 % площ суходолу та 20 % морських акваторій до 2030 р., а до 2050 р. – усіх екосистем, що цього потребують п.2, ст.1 [1]. Прогрес оцінюється за кількісними індикаторами (індекс чисельності метеликів трав'янистих екосистем, індекс звичайних лісових птахів, стан популяцій запилювачів), а отже, вимагає багаторічних порівнюваних рядів даних. Проєкти національних планів відновлення держави-члени мали подати до 1 вересня 2026 р., а для оцінювання міських екосистем рекомендовано використовувати продукти Copernicus Land Monitoring Service, зокрема шар щільності деревного покриву з просторовою роздільністю 10 м [2]. Науковою основою майбутньої загальноєвропейської системи визначено 84 основні змінні біорізноманіття (Essential Biodiversity Variables, EBV), що поєднують польовий облік, дистанційне зондування, ДНК-методи та громадянську науку, а її координацію покладено на Європейський координаційний центр спостережень за біорізноманіттям (EBOCC) [3], роботу над створенням якого у 2026 р. розпочав консорціум на чолі з Агентством довкілля Австрії [4].

Аналіз актуальних публікацій дозволяють виокремити три групи інноваційних технологій, що формують «технологічне ядро» моніторингу в ЄС:

1) *методи екологічної ДНК* (eDNA) та *метабаркодування*. У межах партнерства Biodiversa+ запущено такі пілотні проєкти як MetaBug (моніторинг комах пастками Малеза з ДНК-метабаркодуванням) та BiodivPond (eDNA і пасивний акустичний моніторинг малих водойм) [5]. Показовим є перше національне обстеження біорізноманіття за повітряною eDNA у Великій Британії: фільтри 15 станцій мережі моніторингу якості атмосферного повітря дали змогу ідентифікувати понад 1100 таксонів (груп організмів певного рівня класифікації) – від хребетних до грибів [6]. Методи eDNA також застосовано у П'ятому спільному дослідженні Дунаю (JDS5, 2025) [7], до басейну якого належать і карпатські річки України – Тиса та Прут;

2) *дистанційне зондування Землі* (Sentinel-2, LiDAR, безпілотні літальні апарати) з обробкою на хмарних платформах, прикладом чого є пілотний проект SenseForest спрямований на отримання суцільної («wall-to-wall») інформації про стан лісових оселищ на транскордонному рівні [5]. Для Українських Карпат аналіз знімків Sentinel-2 і Landsat виявив 1335 га порушень старовікових лісів за 2010–2019 рр. (1,8 % їх площі), причому в межах природоохоронних територій інтенсивність порушень була у 7–8 разів нижчою, а під охороною перебувала лише третина таких лісів [8]. Аналогічний підхід (Sentinel-2, Google Earth Engine) вже використано для оцінки впливу воєнних дій на лісові екосистеми сходу України та визначення п'яти ключових ділянок відновлення екологічної зв'язності [9];

3) *автоматизовані засоби реєстрації* – фотопастки та акустичні сенсори з автоматичним розпізнаванням видів за допомогою штучного інтелекту. Їх ефективність для Карпат підтверджує транскордонний проєкт Interreg LECA (Польща, Словаччина, Україна, Ужанський НПП): поєднання

фотопасток і просторових моделей «мічення – повторного вилову» дозволило оцінити популяцію рисі на придатних біотопів та задокументувати транскордонні переміщення тварин [10].

Відповідну нормативну гармонізацію започатковано постановою КМУ від 17.01.2025 № 45, яка затвердила «Порядок здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття як підсистеми державної системи моніторингу довкілля». До об'єктів моніторингу віднесено, зокрема, оселища та види директив 92/43/ЄЕС і 2009/147/ЄС та території Смарагдової мережі; передбачено врахування даних дистанційного зондування Землі й геопросторових даних (п. 7) та особливостей післявоєнного періоду в програмах моніторингу [11]. Водночас Порядок має рамковий характер: він не встановлює конкретних технологічних стандартів (протоколів eDNA, акустичного моніторингу, сумісності з EBV), делегуючи вибір методів програмам моніторингу, а звіти про виконання програм мають оприлюднюватися не рідше ніж один раз на 10 років [11], що не відповідає динаміці змін, які фіксують сучасні технології.

Екстраполюючи досвід ЄС на Українські Карпати, ми бачимо перспективу в: 1) створенні пілотного полігону технологічного моніторингу на базі Карпатського біосферного заповідника з уніфікацією протоколів за зразком Biodiversa+; 2) запровадженні щорічного супутникового виявлення порушень старовікових лісів на основі Sentinel-2 та продуктів Copernicus; 3) запровадженні eDNA-моніторингу річок а також апробуванні відбору повітряної eDNA на наявних постах моніторингу атмосферного повітря; 4) розгортанні мережі акустичних сенсорів з ШІ-розпізнаванням для формування національного аналога індексу лісових птахів; 5) забезпеченні сумісності даних платформи «ЕкоСистема» з форматами EBV та Європейського агентства з довкілля, використовуючи асоційований статус України в програмі «Горизонт Європи» для участі в загальноєвропейських пілотах.

У висновку можемо підкреслити, що інноваційні технології моніторингу є не лише інструментом збереження біорізноманіття, а й необхідною умовою виконання Україною майбутніх зобов'язань за екологічним Регламентом ЄС. Для Карпатського регіону вони відкривають можливість формування довгострокової системи біотичних даних, придатної для спільного аналізу з кліматичними параметрами та прогнозування реакції гірських екосистем на зміну клімату, з подальшою адаптацією до такої.

Список літератури:

1. European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1991 of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. *Official Journal of the European Union*, L series. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj
2. Biodiversity Information System for Europe. (n.d.). *Nature Restoration Regulation: Frequently asked questions*. Retrieved September 23, 2026, from https://biodiversity.europa.eu/europes-biodiversity/nature-restoration/reference-portal-for-nature-restoration-regulation/nrr-frequently-asked-questions
3. Kissling, W. D., Lumbierres, M., Lyche Solheim, A., Liquete, C., Breeze, T. D., Bonn, A., Pereira, H. M. (2026). Building the backbone for Europe's biodiversity monitoring. *Nature Reviews Biodiversity*, *2*(4), 242–257. https://doi.org/10.1038/s44358-026-00140-6
4. Umweltbundesamt. (2026, February 10). EU Biodiversity Observation Coordination Center (EBOCC). https://www.umweltbundesamt.at/en/news260210-eu-biodiversity-observation-coordination-center
5. Biodiversa+. (2025, December 19). From insects to forests: Three new pilots to strengthen monitoring. https://www.biodiversa.eu/2025/12/19/from-insects-to-forests-three-new-pilots-to-strengthen-monitoring/
6. Tournayre, O., Littlefair, J. E., Garrett, N. R., Allerton, J. J., Brown, A. S., Cristescu, M. E., & Clare, E. L. (2025). First national survey of terrestrial biodiversity using airborne eDNA. *Scientific Reports*, *15*, 19247. https://doi.org/10.1038/s41598-025-03650-z
7. International Commission for the Protection of the Danube River. (2025). *About JDS5*. Joint Danube Survey. https://danubesurvey.org/jds5/about-jds5
8. Spracklen, B. D., & Spracklen, D. V. (2020). Old-growth forest disturbance in the Ukrainian Carpathians. *Forests*, *11*(2), 151. https://doi.org/10.3390/f11020151
9. Velázquez, J., Díaz-Ireland, G., Rincón, V., Özcan, A. U., Hernando, A., Çiçek, K., Gontsa, F., & Gülçin, D. (2025). Impacts of the Russian aggression on forest ecosystems in Ukraine and identification of key restoration areas to improve connectivity. *Biodiversity and Conservation*, *34*(7), 2605–2627. https://doi.org/10.1007/s10531-025-03090-1
10. Duľa, M., Zwijacz-Kozica, T., Sütő, D., & Kubala, J. (2025). *Cross-border recommendations for Carpathian border regions* (Interreg Central Europe LECA). https://www.interreg-central.eu/wp-content/uploads/2026/06/Cross-border-Recommendations-for-Carpathian-Border-Regions.pdf
11. Кабінет Міністрів України. (2025). *Про затвердження Порядку здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття* (Постанова № 45 від 17 січня 2025 р.). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/45-2025-п.

ЗЕЛЕНКО К.С., ВОВК А.В., СЕРДЮК Д.Д., ФЕДОНЮК М.А. (УКРАЇНА, ЛУЦЬК)

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЗБОРУ Р.ЧОРНОГУЗКА

Волинська обласна Мала академія наук 43000, вул.Чорновола, 3, Луцьк, Україна;
Луцький національний технічний університет, 43018, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна;
kate2010zelenko@gmail.com, m.fedoniuk@lntu.edu.ua

Abstract. The aim of the scientific work is to develop a scheme for comprehensive monitoring of small rivers based on own testing of a number of both traditional and modern technologies and methods. The study examines the characteristics of the Chornoguzka River, on the example of which monitoring measures were developed. the work involves a comprehensive approach and the creation of a new system of monitoring measures, which will involve regular analysis of all components of the river ecosystem and its morphometric, physicochemical and spatial characteristics.

У час техногенного навантаження та посилення проявів кліматичних змін часто екологічний стан річок опиняється під загрозою. При цьому малі річки бувають набагато вразливіші до таких впливів. Це стосується і річки Чорногузки, що протікає переважно у Луцькому районі Волинської області, на водозборі якої розташовані десятки населених пунктів, в т.ч. південні околиці м.Луцьк.

Ми спробували оцінити сучасний гідроекологічний стан річки та її водозбору, для чого провели ряд польових інструментальних та лабораторних досліджень, апробували ряд дистанційних методів для цієї території, провели опитування місцевих жителів. В результаті виявили суттєві прогалини в інформації, які можна заповнити, організуючи комплексну систему моніторингу малої річки

В процесі роботи апробовано поєднання кількох різних методів, використання яких може суттєво спростити або здешевити систему моніторингу. На основі цього можемо запропонувати наступну схему моніторингу.

1. Створення геоінформаційної бази даних для річки та території водозбору. Охоплює створення векторних файлів русла річки та її приток та водозбору; створення ЦМР (цифрової моделі рельєфу) для басейну; створення заготовки інтерактивної карти з різними шарами для майбутнього моніторингу.

2. Попередні дослідження для визначення оптимальних місць відбору проб та програми спостережень (огляд літературних даних; аналіз руслових деформацій за попередні періоди за різночасовими картами та знімками; аналіз кліматичних даних по найближчих метеостанціях; виявлення місць антропогенного впливу і можливого скиду стічних вод; аналіз мультиспектральних супутникових зображень за попередні періоди для виявлення динаміки водності водозбору; формування опитувальника для оцінки стану річки та ґрунтових вод місцевим населенням, аналіз отриманих відповідей

3. Початкові польові дослідження: відбір проб води у визначених місцях русла річки (до 20) із наступним аналізом та визначення 2-5 точок для наступних постійних спостережень (на основі відмінностей у хімічному складі); вимір рівня ґрунтових вод та відбір проб води у колодязях місцевого населення із експрес-тестуванням на мінералізацію, кислотність, твердість (із визначенням наступних точок для спостережень із врахуванням відмінностей по рівню та мінералізації, обов'язково на різних берегах та висотах); визначення місця для проміру ехолотом та побудови поперечного профілю річки для наступних визначень витрат води; проведення фото- та термальної зйомки безпілотником тестових ділянок; встановлення автоматичних рівнемірів.

4. Основна програма спостережень: оцінка рівнів річкових та ґрунтових вод за автоматичними рівнемірами (щоденно); оцінка рівнів ґрунтових вод за повідомленнями жителів (принаймні 1 раз в сезон через активацію опитувальника); аналіз метеоумов за даними автоматизованих метеостанцій (щомісячно); відбір проб води у визначених точках (в т.ч. за допомогою БПЛА та водного дрона) для розширеного хімічного аналізу (раз на сезон); експрес-оцінка pH, tds та вмісту розчиненого кисню (у меженні періоди); оцінка зміни водності на водозборі річки за аналізом супутникових даних (раз на місяць).

Така система зможе досить ефективно виявляти негативні тенденції та загрозливі стани річки та її басейну і, за потреби, оперативно на них реагувати.

ГРИГА М.Ю. (УКРАЇНА, КИЇВ)

МОНІТОРИНГ БІОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДНІПРА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОХІМІЧНИХ ТА СУПУТНИКОВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, 03142, пр. Акад. Палладіна, 34, Київ, Україна; marynhry@gmail.com

Abstract. This study assesses the dynamics of nutrient pollution and trophic status in the Dniprovske and lower Kamianske reservoirs by combining hydrochemical monitoring with Sentinel-2A NDWI satellite data. Long-term observations reveal a pronounced seasonal peak in phosphate concentrations exceeding 0.4 mg/dm³ in August-September, along with a 25% increase in median ammonium levels from 2015 to 2023. Seasonal variations in NDWI correlate closely with nutrient dynamics, dropping from clean-water values above 0.3 in cold periods to between 0.15 and 0 starting in April. The lowest NDWI values reaching -0.5 in August and early September coincide with peak eutrophication marked by algae bloom.

Формування хімічного складу поверхневих вод Дніпра відбувається під впливом комплексу чинників, серед яких провідну роль відіграють скиди промислових і комунально-побутових стічних вод та дифузний стік із сільськогосподарських земель та урбанізованих територій. Потрапляючи зі стоками різної природи, сполуки азоту та фосфору є ключовими гідрохімічними показниками, що визначають трофічний стан поверхневих вод. Зростаюче антропогенне навантаження, підсилене змінами гідрологічних режимів водойм, призводить до необхідності пошуку комплексних підходів до оцінки змін водних систем для пришвидшення реакцій на потенційні та постійно діючі виклики. Поєднання оцінки даних дистанційного зондування Землі та аналізу змін гідрохімічних показників забезпечує кроки до вдосконалення систем моніторингу забруднення поверхневих вод біогенними елементами.

На прикладі Дніпровського та нижньої частини Кам'янського водосховищ, які за попередніми дослідженнями були віднесені до однієї зони еколого - гідрохімічних змін [1, 2], було встановлено низку особливостей змін концентрацій сполук азоту та фосфору та водних індексів. Були оцінені багаторічні та сезонні зміни концентрацій іонів амонію (NH_4^+) та фосфат-іонів (PO_4^{3-}) у поверхневих водах для періоду з 2015 по 2023 рік, та показники NDWI, отримані в результаті дистанційного зондування Землі супутником Sentinel-2A для періоду з 2017 по 2023 рік.

Було встановлено, що фосфати мають виразнішу сезонність порівняно з амонієм та набувають явно вираженого максимуму в серпні-вересні з рівнями концентрацій понад 0,4 мг/дм³. Цей період характеризується максимальним проявом процесів евтрофікації. Амоній демонструє стабільний висхідний тренд зростання концентрацій у межах усіх станцій спостереження. Порівняно з 2015 роком середньорічні концентрації амонію зросли в середньому на 25% від 0,3 мг/дм³ до 0,4 мг/дм³ за середньорічними медіанами.

Було виявлено, що в межах усієї території дослідження присутні істотні зміни у розподілі NDWI протягом року, які водночас корелюють із характером сезонних змін біогенних елементів [2]. Загальний сезонний розподіл NDWI є зіставним зі змінами концентрацій амонію, а при максимальних значеннях відповідає наявності максимальних концентрацій фосфатів. В холодну пору року водосховища характеризуються значеннями NDWI, вищими за 0,3, що є показниками чистих водойм, при можливому діапазоні змін NDWI від -1 до 1. В теплу пору року якість поверхневих вод починає погіршуватися з квітня, коли показники NDWI набувають значень від 0,15 до 0. Найгірших значень показники NDWI набувають в серпні та на початку вересня, коли значення NDWI можуть бути від 0, при частковому забрудненні територій і до -0,5, коли значну частину водойми перекривають смуги водоростей, а прибережні зони та мілководні ділянки покриваються суцільною плівкою ціанобактерій.

Список літератури:

1. Грига М. Ю. Еколого-геохімічна оцінка закономірностей розподілу сполук азоту і фосфору в поверхневих водах Дніпра. Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. 2024. Т. 29, № 2 (45). С. 122–136. URL: https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2(45).318044
2. Грига М. Ю. Динаміка забруднення дніпровських водосховищ біогенними елементами за гідрохімічними та супутниковими методами дослідження. Слобожанський вісник. 2025. №1. С.112-119. URL: https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.16

ГЛАДЧУК М.М., МАРКІВ В.С., ГОРИН О. І., БІЛАНИК І.Б.,
БОДНАР О.І. (УКРАЇНА, ТЕРНОПІЛЬ)

ЧАСОВА ЗАЛЕЖНІСТЬ ІНФОРМАТИВНОСТІ БІОМАРКЕРІВ *DANIO RERIO* ЗА ДІЇ МЕТАЛІВ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
46027, м. Тернопіль, вул. М. Кривоноса, 2, Україна; info@tnpu.edu.ua

Abstract. The study tested whether the same biomarkers are useful at different exposure times. Adult *Danio rerio* were exposed to Cu, Zn, Pb, Cd and a mixture of these metals. Six biochemical markers were measured in whole-body homogenates after 14 and 28 days. After 14 days, statistically significant changes were found in 20 of 60 combinations of marker and treatment, mainly for LDH. After 28 days, only nine combinations changed, mostly for triglycerides. The results show that biomarker choice should depend on exposure time.

Поширеним уявленням в біоіндикації є вважати високочутливий параметр універсальним маркером щодо використання його на будь-якому етапі дослідження токсичного впливу. Однак, за тривалої дії це не завжди правильно, оскільки після ранньої стресової реакції організм може перейти до компенсації або на інший рівень метаболічного стану. Тому нормальне значення одного маркера на пізньому етапі ще не означає, що токсичний вплив зник. Для оцінювання стану риб доцільно поєднувати кілька показників і враховувати умови відбору (Gusso-Choueri et al., 2026). Це особливо важливо для сумішей металів, де відповідь залежить від дози, часу та взаємодії компонентів (Majid et al., 2025).

З огляду на зазначене, метою роботи є порівняти інформативність маркерів через 14 і 28 діб. Для цього було підраховано частоту статистично підтверджених відповідей: у скількох із десяти експозиційних груп кожен показник відрізнявся від контролю свого строку. Це просте узагальнення, яке дає змогу швидко побачити, які частини біохімічного профілю найчастіше реагують у певний момент.

Статевозрілих *D. rerio* експонували окремо з Cu, Zn, Pb, Cd та з сумішшю чотирьох металів. Для кожного варіанта використовували нижчий рівень концентрації, сформований за даними моніторингу поверхневих вод, та втричі вищий рівень для розуміння ефекту сили токсикантів. Риб відбирали через 14 і 28 діб із різних експозиційних ємностей. У цільнотільних гомогенатах визначали активність лактатдегідрогенази (ЛДГ), тригліцериди, HDL- і LDL-подібні фракції, речовини, що реагують із тіобарбітуровою кислотою (TBARS), а у самців додатково ще вітелогеніноподібні ліпофосфопротеїни (Vtg-LP). У межах кожної методики для комбінації «група × строк» аналізували по п’ять окремих гомогенатів. Порівняння з контролем відповідного строку виконували тестом Даннета після $\log_2$-перетворення індивідуальних значень; критичний рівень становив $p < 0,05$.

Через 14 діб статистично підтверджені відмінності виявили у 20 із 60 можливих комбінацій «показник × експозиційна група». Через 28 діб таких комбінацій було 9 із 60. Їх кількість зменшилася більш ніж удвічі, але, водночас, змінився також і сам набір відповідей. Розподіл за маркерами наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Кількість експозиційних груп зі статистично підтвердженою відповіддю

Показник	14 діб	28 діб
ЛДГ	8	2
Тригліцериди	0	5
HDL-подібна фракція	4	0
LDL-подібна фракція	0	1
Vtg-LP	4	1
TBARS	4	0
Разом	**20**	**9**

Серед 28 унікальних комбінацій, значущих хоча б в одному часовому зрізі, тільки одна – ЛДГ у групі ZnL – повторилася через 14 і 28 діб. Дев’ятнадцять відповідей були лише ранніми, а вісім

з’явилися тільки пізніше. Коефіцієнт подібності Жаккара становив 0,036. Затим, результат одного строку не можна прямо переносити на інший.

На 14-ту добу найчастіше реагувала ЛДГ: зміни були у восьми з десяти експозиційних груп, тому цей ензим зручний для раннього скринінгу загалом, але він не вказує на конкретний метал. Оскільки активність визначали у гомогенаті, результат насамперед показує зміни лактат-піруватної ланки обміну. Разом з тим, через 28 діб значущі відповіді ЛДГ залишилися лише у двох групах, що не гарантує такої самої цінності чутливості маркера пізніше. Часову зміну біомаркерних реакцій у риб описували й раніше (Yin et al., 2018).

Для TBARS усі чотири підтверджені відповіді припадали на 14-ту добу. Через 28 діб їх не виявили, що, однак, не свідчить про припинення впливу. Вміст продуктів ліпопероксидації може зменшуватися через компенсацію, відновлення або перехід до іншої фази відповіді. Тому TBARS краще розглядати як маркер певного часового вікна, а не як універсальний показник накопиченого ефекту (Lushchak, 2011; Formicki et al., 2025).

Для тригліцеридів картина була протилежною. На 14-ту добу жодна група не відрізнялася від контролю, а на 28-му добу зміни були вже у половині груп. Це більше схоже не на посилення раннього оксидативного профілю, а на пізнішу перебудову ліпідного обміну та його вищу консервативність. Відомо, що тривала дія Cu може змінювати ліпідний статус у *D. rerio* (Pan et al., 2019). Водночас, показано, що HDL- і LDL-подібні фракції та Vtg-LP реагували рідше. У цільнотільному гомогенаті це допоміжні характеристики профілю, а не прямі аналоги показників крові чи специфічного імунологічного визначення вітелогеніну.

Підрахунок частоти дає змогу зіставити методики з різними одиницями вимірювання. Водночас поділ на «реагує / не реагує» не показує напрям і величину зміни та залежить від статистичної потужності. Тому це лише перший крок. Далі потрібно оцінювати силу ефекту, зв’язки між показниками та біологічну валідність результату.

Для польового моніторингу це має практичне значення. Якщо давність забруднення невідома, один відбір може дати неповну картину. За можливості варто мати два часові зрізи або поєднувати маркери різних фаз відповіді. Відсутність ранніх змін тригліцеридів не виключає пізнішої реакції, а нормалізація TBARS не заперечує попереднього перекисного ушкодження. Час відбору тут є окремою змінною, а не просто технічною деталлю.

Отже, поняття «найчутливіший біомаркер» без зазначення строку експозиції є неповним. На ранньому етапі у цьому досліді краще проявилися зміни ЛДГ і TBARS, а пізніше – зміни тригліцеридів. Тому показники доцільно ранжувати окремо для кожного моменту відбору. Частота підтверджених відповідей допомагає зробити первинний вибір, але остаточна оцінка має враховувати також напрям, величину зміни та узгодженість з іншими маркерами.

Таким чином, одна панель показників дала різну інформацію на 14-ту і 28-му добу. Це не недолік панелі, а наслідок зміни відповіді організму з часом. Поділ оцінювання за строками зменшує ризик прийняти адаптацію або метаболічну перебудову за відсутність токсичного ефекту.

Дослідження підтримане Міністерством освіти і науки України в межах проєкту 0125U000451.

Список літератури:

1. Formicki, G., Goc, Z., Bojarski, B., & Witeska, M. (2025). Oxidative stress and neurotoxicity biomarkers in fish toxicology. *Antioxidants, 14*(8), 939. https://doi.org/10.3390/antiox14080939
2. Gusso-Choueri, P. K., Choueri, R. B., Maranho, L. A., Alves, A. V., Nobre, C. R., Marinsek, G. P., Mari, R. B., Trevizani, T. H., Figueira, R. C. L., & Abessa, D. M. S. (2026). Time and contamination level dependence of metal bioaccumulation and multibiomarker responses in fish: Implications for biomonitoring. *Environmental Monitoring and Assessment, 198*, 342. https://doi.org/10.1007/s10661-026-15181-9
3. Lushchak, V. I. (2011). Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology, 101*(1), 13–30. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.10.006
4. Majid, S., Smeets, K., Vergauwen, L., Pilehvar, A., Knapen, D., & Blust, R. (2025). Insights into the combined toxicity of copper and cadmium in zebrafish (*Danio rerio*) embryos and adults. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 299*, 118368. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118368
5. Pan, Y. X., Zhuo, M. Q., Li, D. D., Xu, Y. H., Wu, K., & Luo, Z. (2019). SREBP-1 and LXRα pathways mediated Cu-induced hepatic lipid metabolism in zebrafish *Danio rerio*. *Chemosphere, 215*, 370–379. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.058
6. Yin, J., Wang, A. P., Li, W. F., Shi, R., Jin, H. T., & Wei, J. F. (2018). Time-response characteristic and potential biomarker identification of heavy metal induced toxicity in zebrafish. *Fish & Shellfish Immunology, 72*, 309–317. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.10.047

РЕШЕТЧЕНКО С.І.[1], ДМІТРІЄВ С.С.[2], ГРЕКОВА Є.Д.[2] (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

МОНІТОРИНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ АГРОСИСТЕМ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ТЛІ ВОЄННИХ ДІЙ

[1]Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
61002, вул. Сумська, 40, Харків, Україна; Svitlana.Reshetchenko@kname.edu.ua
[2]Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
61022, майдан Свободи, 4, Харків, Україна; s.dmitriev@physgeo.com

Abstract. Significant disruption to ecosystems, infrastructure, and the economy caused by active military hostilities has become one of the major problems of recent years. Monitoring studies enable the analysis and processing of data on the impacts of military activities in specific areas using remote sensing techniques. The destruction of the Kakhivka Hydroelectric Power Plant was a major blow to the agricultural sector.

Значне порушення екосистем, інфраструктури, економіки через активні воєнні дії є головною проблемою останніх років на території як Дніпропетровської області, так і України в цілому. Представлений регіон піддається значним бойовим діям, особливо територія Павлоградського та Нікопольського районів, де фіксується значна деградація та забруднення ґрунтів, водних об'єктів, збільшення частоти пожеж (рис. 1).

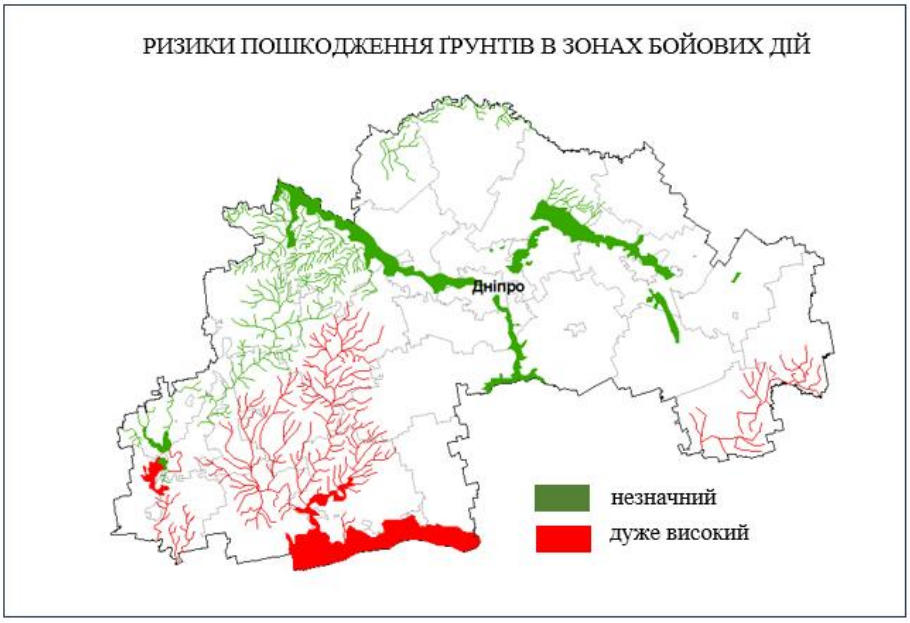


Рис. 1 Ризики пошкодження ґрунтів на території Дніпропетровської області

Надзвичайно гостро постало питання водопостачання Херсона, Дніпра та Запоріжжя після руйнування дамби Каховської ГЕС, що призвело до неконтрольованого скидання води вниз по течії та підтоплення щонайменше 80 населених пунктів. Моніторингові дослідження допомагають здійснювати аналіз та проводити обробку даних впливу воєнних дій на окремих ділянках Дніпропетровської області за допомогою ДЗЗ. Для моніторингу стану природних систем та виявлення наслідків для Дніпропетровської області було використано дані супутникового знімання Sentinel-3 за період 5-30 червня 2023 року (рис. 2). Використаний інструмент OLCI, забезпечує безперервність даних із спектрометром зображень середньої роздільної здатності (300 м), має високе темпоральне розрізнення (зйомки проводяться кожну добу), що дає нам можливість чітко відслідкувати динаміку надзвичайної ситуації. Можна відмітити, що потенційно пошкодженими виявилися території 84 населених пунктів, де дев’ять з них, а саме Тягинка, Львове, Одрадокам'янка Бериславського району, Іванівка, Микільське, Токарівка, Понятівка, Білозерка, мікрорайон Острів у Херсоні були підтоплені майже на 50% всієї площі (рис. 2).



а- знімок станом на 5.06.2023 (стан дамби до вибуху)

б- знімок станом на 9.06.2023 (стан дамби після вибуху, пік проходження паводку)

в- знімок станом на 5.06.2023 (використано спектр False color)

г- знімок станом на 9.06.2023 (використано спектр False color)

Рис. 2 Моніторинг зони підтоплення внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС за даними Sentinel-3

Підрив на Каховській ГЕС був величезним ударом для аграрного бізнесу, оскільки південна частина України є важливим центром сільського господарства. У 2023 р. працював лише правий берег Дніпра та 13 систем зрошення. Руйнування греблі залишило 94% зрошувальних систем без джерела води в Херсонській, 74% — у Запорізькій та 30% — у Дніпропетровській областях, що призвело до зниження продуктивності та збільшення процесів ерозії ґрунтів. Загальна площа пошкоджених сільськогосподарських полів Дніпропетровської області становила понад 13 794,22 га. Суттєвої шкоди зазнали різні природні компоненти і цілі екосистеми території через деградацію рослинного покриву, посилення вітрової та водної ерозії, потрапляння хімічних речовин у ґрунт внаслідок переміщення важкої техніки, фортифікаційних споруд та воєнних дій.

Список літератури:

1. 1.Курепін В. М. Воєнні конфлікти, як глобальні екологічні проблеми суспільства // Педагогічні інновації: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, м. Миколаїв, 28-29 квітня 2021 р. Миколаїв :МНАУ, 2021, С. 156-158.
2. 2.Кучма Т., Ільєнко Т., Білокінь О., Тараріко О. Застосування даних дистанційного зондування для оцінювання збитків внаслідок паводку, спричиненого підривом Каховської ГЕС : матеріали науково-практ. конф., 19-20 липня 2023 р. м. Київ. 2023. 114 с.
3. Climate monitoring as an indicator of the state of natural landscapes / S. I. Reshetchenko, S. S. Dmitriiev, E. V. Boryskina, E. D. Hrekova . Proceedings of the Yerevan state university. 2023. Vol. 57 (3). P. 264–267.

ДЯЧИНСЬКА О.М. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ТРАНСПОЗИЦІЯ ВИМОГ УКРАЇНИ ДО МЕТОДИК ОЦІНКИ ҐРУНТІВ ЗА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ СТАНДАРТАМИ: РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Вінницький національний аграрний університет
21008, Вінницька обл., м. Вінниця,
вул. Сонячна, 3, kmf_kt@ukr.net

Abstract. The study analyzes the challenges and prospects of harmonizing the Ukrainian soil assessment methodology with European Union requirements, as well as the conceptual gap between the domestic soil quality rating system and European approaches to assessing ecosystem services, biodiversity, and carbon sequestration. It substantiates the need to align national legislation with the EU Soil Monitoring Directive, the European Green Deal, and ISO standards. It is demonstrated that the destructive impact of hostilities necessitates the immediate implementation of international methodologies for damage assessment and the development of a unified digital GIS platform compatible with the requirements of Directive 2007/2/EC (INSPIRE) and the LUCAS Soil database. Harmonizing methodologies is a key prerequisite for attracting European investment in land reclamation and ensuring sustainable agricultural land use.

Набуття Україною статусу кандидата в Європейський Союз та зобов'язання за Угодою про асоціацію вимагають приведення національного екологічного та аграрного законодавства у відповідність до його рамкових вимог. Прийняття Стратегії ЄС щодо ґрунтів до 2030 року та Директиви ЄС про моніторинг і стійкість ґрунтів встановлює єдині дефініції «здорового ґрунту», параметри моніторингу та мету досягнення здорового стану всіх ґрунтів до 2050 року [1].

Масштабне деструктивне забруднення та деградація ґрунтів України внаслідок бойових дій вимагають застосування міжнародно визнаних методик оцінювання збитків, токсичності та виснаження родючого шару. Наразі спостерігається концептуальний розрив підходів: якщо в ЄС акцентують увагу на екосистемних послугах, збереженні біорізноманіття, депонуванні вуглецю та показниках токсичності, то українська система й досі спирається переважно на бонітування ґрунтів у балах та їхню нормативну грошову оцінку. Більшість вітчизняних лабораторних методик аналізу ґрунту базується на застарілих принципах хімічних витяжок, що унеможливлює пряме зіставлення даних із міжнародними реєстрами, зокрема із системою LUCAS Soil – найбільшою уніфікованою базою відкритих даних про стан верхнього шару ґрунтів у ЄС [2]. Крім того, в Україні відсутня єдина державна цифрова геоінформаційна система (ГІС) моніторингу ґрунтів, яка б відповідала вимогам Директиви 2007/2/ЄС (INSPIRE) щодо створення спільної інфраструктури геопросторових даних [3]. Зараз в Україні тривають роботи з гармонізації геопросторових даних та розбудови Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), проте сегмент саме ГІС-моніторингу ґрунтів усе ще перебуває на стадії розробки та концептуального проєктування.

Виділимо ключові напрями гармонізації українського законодавства та методик оцінки ґрунтів за європейськими стандартами (табл.1).

Таблиця 1

Напрями гармонізації українського законодавства та методик оцінки ґрунтів за європейськими стандартами

№	Назва напряму	Зміст напряму
1	Оновлення правової бази	Розробка та прийняття нових нормативно-правових актів у сфері охорони ґрунтів з урахуванням концептуальних засад Директиви (ЄС) 2025/2360, (визначення деградації, деконтамінації, відновлення та стійкого землекористування) [4].
2	Імплементація технічних регламентів	Перехід на європейські та міжнародні стандарти аналізу ґрунтів (ISO/EN ISO): ISO 11272 (визначення об'ємної маси ґрунту); ISO 10390 (визначення pH у ґрунті); ISO 10694 (визначення органічного вуглецю/гумусу методом спалювання); ISO 11269 (визначення фітотоксичності та важких металів) [5].
3	Впровадження концепції «Здорового ґрунту» (Soil Health)	Перехід від оцінки ґрунту суто як виробничого засобу в сільському господарстві до сприйняття його як невідновлюваного природного ресурсу та регулятора клімату.
4	Стандартизація лабораторного обладнання та вимірювань:	Акредитація національних лабораторій за стандартом ISO/IEC 17025 для забезпечення визнання результатів вимірювань у країнах ЄС.
5	Запровадження концепції вуглецевого землеробства (Carbon Farming)	Створення методології оцінки вмісту органічного вуглецю в ґрунті для участі українських агровиробників у міжнародному ринку вуглецевих кредитів.
6	Оцінка деградації за стандартами FAO/UNCCD	Гармонізація індикаторів деградації (ерозія, засолення, ущільнення, втрата органічної речовини) із методологією Глобального ґрунтового партнерства (GSP FAO) [6].

Проаналізуємо нормативно-методичні зміни, які вже відбулися або перебувають на етапі активного впровадження. У законодавчому та стратегічному напрямках гармонізації в Угоді про асоціацію та Європейський зелений курс Україна зафіксувала зобов'язання щодо зменшення використання хімічних пестицидів, мінеральних добрив, відновлення родючості та дотримання принципів вуглецево-нейтрального землекористування. Прийнято базовий закон для імплементації європейської Директиви 2007/2/ЄС (INSPIRE) – Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (№ 554-IX) [7]. Закладено правові засади для створення національного геопорталу та переходу від паперових звітів до цифрових геопросторових даних. Розпочато перегляд вітчизняних нормативно-правових актів у контексті ухвалення ЄС Директиви про моніторинг та стійкість ґрунтів (Directive (EU) 2025/2360 / Soil Monitoring Law) для поступового переходу від класичної економічної оцінки (бонітування) до оцінювання екосистемних послуг, депонування вуглецю та здоров'я ґрунтів.

Технічний комітет ТК 142 «Ґрунтознавство» за участі Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського гармонізував і прийняв як ДСТУ ISO серію міжнародних стандартів для аналізу ґрунтів: ДСТУ ISO 10390; ДСТУ ISO 11269; ДСТУ ISO 14235; ДСТУ ISO 11465 [8].

Наказом Міністерства довкілля № 167 затверджено «Методику визначення розмірів шкоди, завданої ґрунтам, земельним ділянкам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії» [9]. Для фіксації наслідків бойових дій: забруднення важкими металами, залишками вибухових речовин, ракетного палива, почали застосовувати методики екотоксикологічного аналізу та космічного знімання, які визнаються міжнародними судовими й екологічними інституціями. Впроваджуються міжнародні керівні принципи FAO: базові положення добровільних керівних принципів сталого управління ґрунтовими ресурсами (VGSSM FAO) включено до рекомендацій щодо ґрунтоохоронних технологій в Україні, зокрема практики No-Till/Mini-Till, оптимізація сівозмін, захист від вітрової та водної ерозії. Також ведеться робота наукових установ щодо адаптації українських сіток відбору проб до методології LUCAS Soil, що дозволить у майбутньому порівнювати стан українських ґрунтів із європейськими масивами даних.

Гармонізація українського законодавства та методологічної бази оцінювання ґрунтів із нормами та стандартами Європейського Союзу має стратегічне значення для України. Це не лише виконання євроінтеграційних зобов'язань, а й практичний інструмент розв'язання економічних, екологічних та повоєнних завдань. Основоположні вигоди та можливості, які відкриє для себе Україна: юридично беззаперечна фіксація та відшкодування воєнних збитків, спрощення експорту агропродукції та зняття нетарифних бар'єрів, залучення європейських інвестицій та фінансування на відбудову, модернізацію системи моніторингу та управління землями, довгострокове збереження та відновлення родючості ґрунтів.

Список літератури:

1. European Commission. (2023). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law)* (COM/2023/416 final). EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/et/ALL/?uri=COM:2023:416:FIN
2. Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., & Fernández-Ugalde, O. (2018). LUCAS Soil, the largest open-access baseline for soil attributes across the European Union. *Earth System Science Data*, 10(3), 1225–1245. https://doi.org/10.5194/essd-10-1225-2018
3. European Parliament and Council of the European Union. (2007). *Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)*. *Official Journal of the European Union*, L 108, 1–14. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0002
4. European Parliament and Council of the European Union. (2025). *Directive (EU) 2025/2360 of the European Parliament and of the Council of 12 November 2025 on soil monitoring and resilience (Soil Monitoring Law)*. *Official Journal of the European Union*, L 2025/2360. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32025L2360
5. International Organization for Standardization. (2021). *Soil quality — Determination of pH* (ISO Standard No. 10390:2021). https://www.iso.org/standard/72530.html
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Voluntary guidelines for sustainable soil management*. FAO. https://www.fao.org/3/i6874en/i6874en.pdf
7. Верховна Рада України. (2020). *Про національну інфраструктуру геопросторових даних* (Закон України № 554-IX від 13 квітня 2020 р.). Відомості Верховної Ради України, 37, ст. 277. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20
8. Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського». (2020). *Каталог національних стандартів з якості ґрунту, розроблених Технічним комітетом ТК 142 «Ґрунтознавство»*. ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського». https://issar.com.ua
9. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2022). *Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, завданої ґрунтам, земельним ділянкам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій* (Наказ № 167 від 04 квітня 2022 р.). Офіційний вісник України, 34, ст. 1878. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22

МОКРИЙ В.І., ЛИСИК П.М., СКРЕНТОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ СОЗОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЯВОРІВСЬКОГО НПП

Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua

Abstract. This study focuses on the development and application of information technologies for assessing the sozological (nature conservation) value of dendroflora. This approach encompasses digital methods, databases, and information systems that enable a well-founded assessment of the need to protect rare, endemic, and old-growth tree stands. The use of information technologies makes it possible to transform traditional visual and forest inventory data into digital, automated, and spatially referenced datasets, thereby establishing a foundation for developing scientifically grounded measures for the conservation and restoration of native forest stands within the Yavorivskyi National Nature Park.

Необхідність використання спеціалізованих алгоритмів та електронних таблиць для визначення показників репрезентативності, життєвого стану, ступеня вразливості та індексів рідкісності окремих видів зумовлена потребою формування сучасних цифрових баз даних. Створення електронних каталогів раритетної флори сприяє оперативнішому контролю за станом лісових екосистем Яворівського НПП, а також полегшує ведення та оновлення регіональних червоних списків. Особливого значення це набуває з огляду на те, що Яворівський НПП входить до складу біосферного резервату «Розточчя» під егідою ЮНЕСКО. Запропонований підхід також відповідає положенням Національної стратегії збереження біологічного різноманіття України щодо формування системи моніторингу стану популяцій рідкісних та зникаючих видів.

Метою дослідження є систематизація та кількісне оцінювання рідкісних, зникаючих і ендемічних видів деревних рослин для наукового обґрунтування заходів зі збереження, відновлення та подальшого моніторингу унікальних лісових угруповань Яворівського НПП.

Результати дослідження визначаються комплексом критеріїв, які характеризують екологічну та природоохоронну цінність лісових екосистем. У межах дослідження враховуються види з обмеженим ареалом поширення, а також реліктові рослини, які збереглися до сучасного часу як залишки флори минулих геологічних епох. Відповідно до синфітосозологічної класифікації всі раритетні фітоценози Яворівського НПП віднесено до I синфітосозологічного класу. До нього належать рослинні асоціації, які характеризуються високою вразливістю до антропогенного впливу та потребують збереження в межах природно-заповідного фонду на територіях і об’єктах високого природоохоронного статусу, зокрема природних заповідників та національних природних парків. Більшість досліджених рослинних угруповань належить до 2-ї категорії охорони, до якої віднесено сім угруповань. Водночас три угруповання належать до 3-ї категорії охорони. Серед них — букові ліси з домінуванням плюща звичайного; ялиново–клейковільхово–звичайнососнові та ялиново–повислоберезово–звичайнососнові ліси; звичайнососнові ліси звичайноялівцеві, а також звичайнодубово–звичайнососнові ліси звичайноялівцеві. Відповідно до положень Зеленої книги України раритетні фітоценози Яворівського НПП належать до категорії «рідкісних». Крім того, переважна більшість досліджених угруповань, за винятком звичайнососново–букових та грабово–звичайнососново–букових лісів, перебуває під загрозою зникнення. Це свідчить про високу чутливість відповідних фітоценозів до впливу зовнішніх чинників і визначає необхідність систематичного проведення моніторингових досліджень для своєчасного виявлення негативних тенденцій та розроблення відповідних природоохоронних заходів.

Висновки та перспективи подальших досліджень передбачають створення та розвиток спеціалізованих созологічних баз даних, побудованих на принципах сумісності з відповідними екоінформаційними системами Європейського Союзу. Перспективним також є широке використання сучасних біоінформаційних технологій, які забезпечують ефективне накопичення, опрацювання, просторовий аналіз і візуалізацію даних про стан раритетних видів та лісових угруповань. Такий підхід дозволить підвищити ефективність довгострокового моніторингу та наукового забезпечення природоохоронної діяльності в межах Яворівського НПП.

МАРФУТІН А.Б., НАГУРСЬКИЙ О.А. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ЗА РІВНЕМ РАДОНОВИДІЛЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, м. Львів
79013, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua

Abstract The paper develops technological and organizational-technical principles for reducing radon and dust loads in the production environment of a building-products enterprise using natural mineral raw materials. Experimental data show a pronounced dependence of 222Rn concentration on the technological operation: the maximum value of 145 Bq/m³ was recorded after mechanical crushing, while the concentration decreased to 130 Bq/m³ during mixing, 110 Bq/m³ during forming, 95 Bq/m³ in hardened products and 85 Bq/m³ in finished products. A multi-level control system is proposed, including raw-material radiological control, identification of critical operations, source localization, local and general ventilation, instrumental monitoring and periodic efficiency assessment. A coupled CFD–FEM modelling approach is proposed to predict the spatial distribution of radon, using FEM to describe radon diffusion in mineral materials and CFD to model its transport in the production air. The approach enables identification of potential accumulation zones and supports selection of engineering protection scenarios.

Використання природної мінеральної сировини у виробництві будівельних виробів може бути джерелом надходження радону-222 у виробниче повітря. Технологічні операції подрібнення, дозування, змішування та формування змінюють фізичний стан матеріалу, площу відкритої поверхні й умови газообміну, а отже впливають на еманування та міграцію радону. Одночасне утворення пилу під час механічних операцій зумовлює необхідність комплексного підходу до захисту виробничого середовища.

Результати досліджень, свідчать про виражену технологічну залежність радонового навантаження. Максимальна концентрація ^{222}Rn після механічного подрібнення становила 145 Бк/м³, тоді як для вихідної сировини - 120 Бк/м³. У бетонній суміші концентрація знижувалась до 130 Бк/м³, на стадії формування - до 110 Бк/м³, у затверділій бруківці - до 95 Бк/м³, а для готового виробу - до 85 Бк/м³. Встановлена закономірність стала основою для переходу від загального нормативного контролю до диференційованого управління радоновим фактором. Запропоновано багаторівневу систему, яка включає вхідний радіологічний контроль сировини, визначення критичних технологічних операцій, локалізацію джерел радоновиділення, вентиляційне видалення, інструментальний контроль повітря, контроль готової продукції та періодичну оцінку ефективності захисних заходів. Критичною операцією дослідженого технологічного процесу визначено механічне подрібнення: концентрація 145 Бк/м³ становила 72,5 % прийнятого у дослідженні референтного рівня 200 Бк/м³. Другим за значущістю етапом є приготування бетонної суміші - 130 Бк/м³. Тому першочергові інженерні заходи мають бути спрямовані на зону дробильного обладнання та змішування.

Для зони подрібнення запропоновано відокремлення обладнання, укриття місць завантаження і вивантаження та підключення локальної витяжної вентиляції безпосередньо до зон утворення забруднення. У зоні змішування доцільними є герметизація або часткове укриття змішувача, автоматизація завантаження, мінімізація падіння сухих компонентів та локальне відсмоктування. Для виробничого приміщення система захисту повинна поєднувати локальну витяжну, загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію та контроль недопущення перетікання забрудненого повітря до адміністративних і побутових приміщень. Для постійного контролю визначено шість контрольних зон: приймання сировини, подрібнення, змішування, формування, витримування та склад готової продукції. Найвищий пріоритет має приміщення подрібнення, високий - зона змішування; для зон приймання сировини, формування і витримування визначено середній пріоритет, а для складу готової продукції - низький–середній. Для просторового прогнозування запропоновано пов’язану CFD–FEM модель. FEM використовується для опису дифузії ^{222}Rn у мінеральній сировині та бетонній матриці, а CFD - для моделювання конвективно-дифузійного перенесення радону у виробничому повітрі. Потік радону з поверхні матеріалу, визначений FEM-моделлю, передається до CFD-моделі як локальна гранична умова джерела. Така постановка поєднує ланцюг «питома активність ^{226}Ra → еманування ^{222}Rn → надходження у повітря → перенесення → накопичення → вентиляційне видалення».

МАМЧУР З.І., ДРАЧ Ю.А., РАГУЛІНА М.Є. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

SCORPIDIUM SCORPIOIDES ЯК ІНДИКАТОР ГІДРОЛОГІЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ВОДНО-БОЛОТНИХ ЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ ВОЛИЦЬКОГО ЗАКАЗНИКА, ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСТЬ)

[1]Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, 79005, Львів, Україна, e-mail: zvenyslava.mamchur@lnu.edu.ua
[2]Державний природознавчий музей НАН України, вул. Театральна, 18, 79008, Львів, Україна

Abstract. *Scorpidium scorpioides* (Hedw.) Limpr. is a relict bryophyte species (division Bryophyta) at the southeastern limit of its European range, listed in the Red Data Book of Ukraine (2021) with the status «vulnerable». It was recorded within the mire inside the 'Volytskyi' Botanical Reserve of national importance in the 1960s; however, it is currently absent there. Therefore, the disappearance of *S. scorpioides*, an extremely sensitive, stenotopic hydrophyte that requires a permanently high, stable water level and nutrient-poor, oligotrophic conditions, is highly indicative. The absence of *S. scorpioides* in the surveyed area, coupled with the findings of the ecologically more plastic *S. cossonii*, serves as direct bryological evidence of the degradation of the original hydrological regime, peat mineralization, and structural disruption of the former mire habitat. In this role, *S. scorpioides* effectively functions as an indicator of anthropogenic disturbance and hydrological transformation within the reserve.

Scorpidium scorpioides – реліктовий вид мохоподібних (відділ Bryophyta) на пд.-сх. межі європейської частини ареалу, включений до ЧКУ (2021) зі статусом «вразливий». За даними МСОП (IUCN, 2019) у Червоному списку вид має статус «Near Threatened» («Близький до загрозливого стану». У північних країнах Європи із великими масивами малорухомих боліт його популяції поки стабільні. Проте в Центральній та Східній Європі (зокрема на рівнинній частині України, у тому числі на Львівщині) через осушення та антропогенний тиск ці популяції масово зникають.

Дані про трапляння виду було зазначене для верхового болота на території ботанічного заказника загальнодержавного значення «Волицький» (Шептицький район) (Брадіс, Бачуріна, 1969). Болото займає площу 150га, є найбільшим у Львівській області, що збереглося у природному стані, однак воно теж зазнало змін через проведення масштабних осушувальних меліорацій на суміжних землях у минулі десятиліття. Це призвело до зниження рівня ґрунтових вод та висихання поверхневих шарів, що створило сприятливі умови для вторгнення деревно-чагарникової рослинності на відкриті торфовища та мочари, також спостерігається на місці відкритих обводнених ділянок поява мезофітних трав і чагарників.

Наші експедиційні дослідження у Волицькому заказнику не підтвердили наявності цього виду. Натомість у межах заказника виявлений інший представник роду – *Scorpidium cossonii* (Schimp.) Hedenäs), який не має настільки високого созологічного рангу в Україні та в Червоному списку МСОП (Hodgetts et al., 2019.), а має статус «Least Concern» (LC, «У найменшій загрозі»). З погляду біоморфологічних характеристик, обидва види є багаторічними плеврокарпними мохами та належать до однієї водно-болотної екоморфи, утворюючи схожі дернинки у перезволожених місцях. Екологічний аналіз за сучасними шкалами пояснює причину такої сукцесійної заміни. Так, за даними офіційної оновленої бази даних BRYOATT (2017), обидва види – *S. scorpioides* та *S. cossonii* – мають однакові числові показники поживних речовин / азоту (N), для обох видів встановлено N = 2 (оліготрофні види, що ростуть на бідних або помірно бідних субстратах). Це означає, що види є стенотопними оліготрофними організмами, які чітко прив'язані до дуже бідних на поживні речовини (або специфічних кальцій-карбонатних мезотрофних/низинних) умов. Натомість за новішими даними (Simmel al., 2021) *S. scorpioides* має N-значення 2, а *S. cossonii* – 3. Для моху, який повністю залежить від водної капілярної системи та стійкого підтоплення, це критичний фактор. Осушення спричиняє мінералізацію торфу. Органічна речовина починає швидше розкладатися, вивільняючи в доступну форму мінеральні елементи та азот. Умови збідненого оліготрофного субстрату (N = 2) поступово перетворюються на мезо- чи навіть еутрофні.

Отже, зникнення *S. scorpioides*, який є надзвичайно чутливим стенотопним гідрофітом і потребує постійно високого, стабільного рівня води та бідних оліготрофних умов, є дуже показовим. Відсутність *S. scorpioides* на обстеженій ділянці та знахідки екологічно пластичнішого *S. cossonii* є прямим бріологічним підтвердженням деградації початкового гідрологічного режиму, мінералізації торфу та порушення структури колишнього болотного біотопу. У цій ролі *S. scorpioides* ефективно виконує функцію індикатора антропогенної порушеності та гідрологічної трансформації заказника.

ВРОНСЬКА Н.Ю., ЛЮТА О.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО БІОМОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 13, м. Львів, Україна

Abstract. Biomonitoring is an important component of modern environmental assessment systems, as it enables not only the detection of individual pollutants but also the assessment of their effects on living organisms and ecosystem functioning. This paper examines current approaches to the use of biological indicators for assessing the condition of the atmosphere, aquatic ecosystems, and terrestrial environments. Particular attention is given to the application of lichens, mosses, aquatic invertebrates, and molecular methods based on environmental DNA (eDNA). The potential of biomonitoring for detecting microplastic pollution is also considered. The findings demonstrate that combining traditional bioindicators with modern molecular and analytical methods expands the capabilities of environmental assessment and enhances the information value of monitoring studies.

Біомоніторинг навколишнього середовища передбачає використання живих організмів або біологічних характеристик для оцінювання змін стану екосистем під впливом природних та антропогенних чинників. На відміну від виключно інструментального контролю концентрацій забруднювальних речовин, біологічні методи дають змогу оцінити інтегральну реакцію організмів на комплекс факторів, які одночасно діють у навколишньому середовищі. Саме тому біомоніторинг розглядається як важливий компонент сучасної оцінки екологічного стану територій.

Одними з найбільш поширених біоіндикаторів атмосферного забруднення є лишайники та мохи. Їхні особливості – відсутність розвиненої кореневої системи, безпосередній контакт із атмосферними опадами та повітрям, а також здатність накопичувати хімічні елементи – забезпечують можливість використання цих організмів для просторового оцінювання забруднення. Систематичний аналіз досліджень за попереднє десятиліття показав широке застосування як аборигенних, так і трансплантованих лишайників, особливо для визначення вмісту важких металів та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у промислових і міських районах [1].

Сучасні дослідження підтверджують перспективність лишайників не тільки як індикаторів хімічного забруднення, а й для оцінювання ширшого спектра екологічних змін. Зокрема, встановлено їхню чутливість до змін якості повітря, температурного режиму та впливу твердих частинок. Це дозволяє розглядати лишайники як природний інструмент просторового біомоніторингу в міських, промислових і гірських екосистемах [2].

Іншим перспективним напрямом є використання мохів для пасивного моніторингу атмосферного забруднення. Аналіз сучасних досліджень показує, що мохи можуть застосовуватися для визначення просторового розподілу важких і мікроелементів, деяких стійких органічних забруднювачів та для виявлення потенційних джерел їх надходження. Водночас перспективним є поєднання мохового біомоніторингу з даними традиційних сенсорних систем, що може забезпечити більш детальне просторове представлення якості атмосферного повітря [3].

Для оцінювання стану водних екосистем важливе значення мають угруповання макробезхребетних, діатомових водоростей та інших організмів, чутливих до змін умов середовища. Сучасні підходи передбачають не лише визначення окремих видів, а й використання багатокомпонентних індексів, які враховують структуру угруповань та їх реакцію на сукупність факторів стресу. Застосування кількох груп біоіндикаторів може забезпечувати більш комплексну характеристику екологічного стану водойм [4].

Одним із найбільш динамічних напрямів розвитку біомоніторингу є використання екологічної ДНК (environmental DNA, eDNA). Метод ґрунтується на виявленні генетичного матеріалу організмів у пробах води, ґрунту або донних відкладів без необхідності безпосереднього вилову чи спостереження за організмами. Застосування eDNA та метабаркодингу дозволяє одночасно виявляти представників різних таксономічних груп і використовувати отриману інформацію для оцінювання біорізноманіття, виявлення рідкісних та інвазійних видів і моніторингу стану водних екосистем [5, 6].

За результатами аналізу 407 наукових публікацій з aquatic eDNA було встановлено швидке розширення методичного інструментарію цього напряму. Водночас автори наголошують на необхідності стандартизації відбору проб, збереження матеріалу, екстракції ДНК, вибору праймерів та інтерпретації отриманих результатів [5]. Таким чином, eDNA має значний потенціал для

біомоніторингу, однак його застосування потребує дотримання стандартизованих протоколів та врахування методичних обмежень.

Окремим сучасним напрямом є біомоніторинг мікропластикового забруднення. Водні та наземні організми можуть використовуватися для оцінювання надходження, накопичення та біодоступності мікропластикових частинок у природних екосистемах. Огляд досліджень, присвячених використанню наземних і прісноводних організмів як біомоніторів мікропластику, показав перспективність такого підходу, але водночас виявив значну різноманітність методик і необхідність їх подальшої стандартизації [7].

Важливою проблемою залишається забезпечення достовірності та порівнюваності результатів. Аналіз 409 досліджень біомоніторингу мікропластику у водних організмів продемонстрував, що лише невелика частина робіт відповідала встановленим критеріям якості та придатності для кількісного біомоніторингу. Це підкреслює необхідність чіткої ідентифікації полімерів, одночасного аналізу організмів та відповідних компонентів навколишнього середовища, а також уніфікації методик дослідження [8].

Отже, сучасний біомоніторинг поступово переходить від використання окремих видів-індикаторів до комплексних систем оцінювання, у яких поєднуються традиційні біоіндикатори, інструментальні методи та молекулярні технології. Лишайники, мохи, водні безхребетні та інші організми залишаються важливими інструментами інтегрального оцінювання стану екосистем, тоді як eDNA та метабаркодинг відкривають нові можливості для швидкого виявлення біорізноманіття. Перспективним є також розвиток біомоніторингу нових забруднювачів, зокрема мікропластику. Подальше вдосконалення методів, стандартизація протоколів та поєднання біологічних і хімічних даних можуть підвищити ефективність систем екологічного моніторингу та оцінювання екологічних ризиків.

Список літератури:

1. Abas, A. (2021). A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators, 121,* 107197. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107197.
2. Thakur, M., Bhardwaj, S., Kumar, V., & Rodrigo-Comino, J. (2024). Lichens as effective bioindicators for monitoring environmental changes: A comprehensive review. *Total Environment Advances, 9*, 200085. DOI: 10.1016/j.teadva.2023.200085.
3. Chaudhuri, S., & Roy, M. (2023). Global ambient air quality monitoring: Can mosses help? A systematic meta-analysis of literature about passive moss biomonitoring. *Environment, Development and Sustainability*. DOI: 10.1007/s10668-023-03043-0.
4. Multi-marker metabarcoding resolves subtle variations in freshwater condition: Bioindicators, ecological traits, and trophic interactions. (2022). *Ecological Indicators, 145*, 109603. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109603.
5. Takahashi, M., et al. (2023). Aquatic environmental DNA: A review of the macro-organismal biomonitoring revolution. *Science of the Total Environment, 873*, 162322. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162322.
6. Schenekar, T. (2023). The current state of eDNA research in freshwater ecosystems: Are we shifting from the developmental phase to standard application in biomonitoring? *Hydrobiologia, 850*, 1263–1282. DOI: 10.1007/s10750-022-04891-z.
7. de Jourdan, B., Philibert, D., Asnicar, D., & Davis, C. W. (2024). Microplastic biomonitoring studies in aquatic species: A review & quality assessment framework. *Science of the Total Environment, 957*, 177541. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177541.

ЛЮТА О.В., ВРОНСЬКА Н.Ю. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

НОРМУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ЕМІСІЙ ПРОМИСЛОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 13, м. Львів, Україна

Abstract. The regulation and forecasting of industrial pollution are important components of environmental management aimed at preventing and reducing the negative impacts of industrial activities on ambient air, water resources, soils, and ecosystems. The paper examines regulatory approaches to emissions from stationary sources, wastewater discharges, sanitary protection zones, and soil contamination. Particular attention is paid to maximum permissible emissions and maximum permissible discharges, the assessment of pollutant dispersion and transformation, and the forecasting of changes in environmental quality. The role of monitoring, mathematical modelling, and integrated pollution prevention and control is discussed. The transition towards the application of best available techniques and integrated environmental regulation is considered an important direction for improving industrial pollution management.

Промислова діяльність є одним із основних джерел антропогенного навантаження на атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунтовий покрив. Забруднення може формуватися як безпосередньо внаслідок викидів і скидів, так і через вторинне надходження та міграцію забруднювальних речовин між компонентами довкілля. Сучасні дослідження підкреслюють взаємопов'язаність забруднення повітря, води та ґрунтів, особливо в районах концентрації промислових і гірничодобувних підприємств [1, 2]. Тому система екологічного нормування має враховувати не лише окреме джерело забруднення, а й його потенційний вплив на довкілля та населення.

Важливим напрямом нормування атмосферного забруднення є встановлення граничнодопустимих викидів (ГДВ) забруднювальних речовин зі стаціонарних джерел. В Україні порядок розроблення та затвердження нормативів ГДВ визначається постановою Кабінету Міністрів України № 1780 [3]. Встановлення нормативів передбачає врахування характеристик джерела, властивостей забруднювальних речовин та умов їх розсіювання в атмосферному повітрі. Важливою складовою оцінювання є математичне моделювання, яке дає змогу прогнозувати концентрації забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери та оцінювати відповідність встановленим нормативам.

Для водних ресурсів основним інструментом регулювання є граничнодопустимі скиди (ГДС) забруднювальних речовин. Відповідно до Водного кодексу України нормативи ГДС встановлюються з метою досягнення нормативів якості води [4]. Чинний порядок нормування ГДС передбачає врахування характеристик зворотних вод, особливостей водного об'єкта та переліку речовин, скидання яких підлягає нормуванню. У 2025 році до відповідного нормативного регулювання були внесені зміни, зокрема щодо переліку речовин та показників, які підлягають нормуванню [5]. Сучасні технології очищення промислових стічних вод охоплюють фізичні, хімічні та біологічні методи, вибір яких залежить від складу та концентрації забруднювачів [6].

Окремим просторовим інструментом екологічного регулювання є санітарно-захисна зона (СЗЗ). Її призначення полягає у забезпеченні просторового відокремлення промислових об'єктів від житлової забудови та інших об'єктів, до яких встановлюються санітарно-гігієнічні вимоги. Визначення розмірів СЗЗ має враховувати характер виробництва, рівні забруднення атмосферного повітря, шумове та інше фізичне навантаження. Чинні державні санітарні правила також передбачають вимоги до рівнів забруднення на межі СЗЗ [7]. У 2026 році до відповідних санітарних правил були внесені зміни, що підтверджує актуальність цього інструменту в системі просторового регулювання промислового впливу [8].

Важливою складовою комплексного оцінювання промислового забруднення є забруднення ґрунтів. До потенційно небезпечних забруднювачів належать важкі метали, нафтопродукти, поліциклічні ароматичні вуглеводні та інші стійкі речовини. Особливістю ґрунтового забруднення є можливість тривалого накопичення речовин, їх міграції у водне середовище та надходження до рослин. Сучасні дослідження наголошують на необхідності комплексного оцінювання джерел забруднення, міграції потенційно токсичних елементів і довгострокових екологічних ризиків [1, 9].

Прогнозування промислового забруднення має забезпечувати оцінювання можливих змін стану довкілля в часі та просторі. Для цього можуть застосовуватися математичні моделі розсіювання атмосферних забруднювачів, моделі перенесення речовин у водних системах, геоінформаційні методи та моделі міграції забруднювачів у ґрунтах. Поєднання результатів моніторингу, математичного

моделювання та оцінювання екологічних ризиків створює основу для прогнозування зон потенційного забруднення та вибору відповідних природоохоронних заходів [2, 9].

Важливою тенденцією розвитку екологічного нормування є перехід від регулювання окремих видів впливу до інтегрованого запобігання та контролю промислового забруднення. В Україні у 2024 році прийнято Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення», який передбачає поступове впровадження інтегрованого підходу до регулювання промислових установок [10]. На рівні Європейського Союзу цей напрям розвивається відповідно до Директиви (EU) 2024/1785, яка посилює роль найкращих доступних технологій та екологічних показників промислової діяльності [11].

Таким чином, ефективне нормування та прогнозування промислового забруднення потребує комплексного врахування впливу промислових об'єктів на атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунти. Поєднання нормативів ГДВ і ГДС, вимог до санітарно-захисних зон, оцінювання стану ґрунтів, моніторингу та математичного моделювання дає змогу не лише контролювати поточний рівень антропогенного навантаження, а й прогнозувати його можливі зміни.

Список літератури:

1. Swain, C.K. Environmental pollution indices: a review on concentration of heavy metals in air, water, and soil near industrialization and urbanisation. *Discov Environ* 2, 5 (2024). https://doi.org/10.1007/s44274-024-00030-8
2. Dehkordi, M. M., Nodeh, Z. P., Dehkordi, K. S., Salmanvandi, H., Khorjestan, R. R., & Ghaffarzadeh, M. (2024). Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods. *Results in Engineering, 23*, 102729. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729
3. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел : постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 № 1780. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1780-2001-%D0%BF#Text
4. Водний кодекс України : Кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. Ст. 38. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text
5. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : постанова Кабінету Міністрів України від 10.12.2025 № 1626. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1626-2025-%D0%BF#Text
6. Kato, S., Kansha, Y. Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environ Sci Pollut Res* 31, 51064–51097 (2024). https://doi.org/10.1007/s11356-024-34584-0
7. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : наказ МОЗ України від 19.06.1996 № 173. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text
8. Про затвердження Змін до Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : наказ МОЗ України від 13.01.2026 № 40. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0165-26#Text
9. Lee H, Sam K, Coulon F, De Gisi S, Notarnicola M, Labianca C. Recent developments and prospects of sustainable remediation treatments for major contaminants in soil: A review. Sci Total Environ. 2024 Feb 20; 912:168769. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168769
10. Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення : Закон України від 16.07.2024 № 3855-IX. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-20#Text
11. Directive (EU) 2024/1785 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 amending Directive 2010/75/EU on industrial emissions. *Official Journal of the European Union*. 2024.

ЛЮТА О.В., ВРОНСЬКА Н.Ю. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ДОВКІЛЛЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 13, м. Львів, Україна

Abstract. Geographic information technologies are widely used in environmental research to assess ecosystem conditions, anthropogenic pressures, and environmental changes. The paper examines the use of geographic information systems (GIS) and remote sensing for assessing air, water, and soil quality, land degradation, vegetation condition, and biodiversity. Particular attention is paid to the spatial analysis of pollution, identification of environmentally vulnerable areas, and risk assessment. The integration of geospatial data with field research and monitoring results enables a comprehensive assessment of ecosystem conditions and the identification of long-term environmental changes.

Сучасні екологічні дослідження потребують комплексного оцінювання стану природних компонентів, визначення масштабів антропогенного навантаження та виявлення просторових закономірностей змін довкілля. Особливої актуальності набуває дослідження територій, що зазнають інтенсивного промислового, сільськогосподарського та урбанізаційного впливу. Геоінформаційні технології, зокрема географічні інформаційні системи (ГІС) і дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), забезпечують можливість поєднання результатів польових спостережень, лабораторних досліджень і супутникових даних для комплексного аналізу екологічного стану територій [1, 2].

Одним із важливих напрямів застосування ГІС є дослідження просторового розподілу забруднення компонентів довкілля. Використання геопросторового аналізу дає змогу встановлювати взаємозв'язки між розташуванням промислових підприємств, транспортних магістралей, сільськогосподарських угідь та рівнями антропогенного навантаження. На основі результатів екологічного моніторингу можуть формуватися картографічні моделі концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, поверхневих водах і ґрунтах. Такі підходи сприяють виявленню територій із підвищеним рівнем забруднення, визначенню потенційних зон екологічного ризику та обґрунтуванню заходів зі зменшення негативного впливу господарської діяльності [1, 3].

Важливе значення геоінформаційні технології мають для оцінювання стану земельних ресурсів і дослідження деградаційних процесів. Аналіз супутникових знімків у поєднанні з картографічними матеріалами дає змогу виявляти зміни землекористування, скорочення площ природних екосистем, розвиток ерозії та деградацію ґрунтового покриву. Це, у свою чергу, дає змогу зробити оцінку стану рослинності та виявляти території, що зазнають впливу посух, пожеж і надмірного антропогенного навантаження. Аналіз багаторічних супутникових спостережень дає змогу встановлювати тенденції трансформації ландшафтів і оцінювати екологічні наслідки змін клімату [2, 4].

Окремим напрямом є використання ДЗЗ для моніторингу водних екосистем та оцінювання якості води. Супутникові дані дають змогу відстежувати зміни площі водних об'єктів, виявляти ознаки евтрофікації, досліджувати поширення завислих речовин і визначати зміни оптичних характеристик води. Поєднання дистанційних спостережень із результатами гідрохімічного аналізу забезпечує можливість комплексного оцінювання стану поверхневих вод і виявлення ділянок, які потребують поглибленого екологічного обстеження. Водночас застосування супутникових методів не замінює лабораторних досліджень, а доповнює традиційний моніторинг, розширюючи його просторове охоплення [5].

Геоінформаційні технології відіграють важливу роль у дослідженні біорізноманіття, стану природоохоронних територій і стійкості екосистем до антропогенних впливів. Просторовий аналіз природних екосистем, рослинного покриву та землекористування дає змогу оцінювати фрагментацію ландшафтів, виявляти порушення екологічних коридорів і визначати території, важливі для збереження біорізноманіття. Використання тематичних карт і супутникових спостережень сприяє моніторингу змін природних екосистем, оцінюванню наслідків господарської діяльності та визначенню пріоритетних напрямів відновлення порушених природних комплексів [2, 4].

Окреме значення геоінформаційні технології мають у моніторингу територій, що зазнали значних антропогенних трансформацій. Використання супутникових знімків різної просторової та часової роздільної здатності дає змогу оперативно виявляти зміни земного покриву, площі лісових масивів, сільськогосподарських угідь, водних об'єктів і забудованих територій. Застосування часових рядів геопросторових даних дозволяє порівнювати стан територій у різні періоди та визначати

швидкість і напрямок екологічних змін. Це особливо важливо для довгострокового спостереження за територіями, де традиційні наземні методи моніторингу є недостатніми або потребують значних ресурсів.

Перспективи розвитку геоінформаційних технологій пов'язані з використанням штучного інтелекту, машинного навчання та автоматизованого аналізу супутникових даних. Такі технології дозволяють обробляти великі масиви просторової інформації, класифікувати типи земного покриву, автоматично виявляти зміни екосистем і підвищувати оперативність екологічного моніторингу. Інтеграція ГІС із сучасними системами збору даних, безпілотними літальними апаратами та сенсорними мережами створює можливості для формування комплексних цифрових моделей стану довкілля. Подальше вдосконалення таких підходів сприятиме підвищенню ефективності екологічного контролю та прийняття обґрунтованих рішень у сфері охорони довкілля.

Важливим практичним аспектом використання ГІС є підтримка прийняття управлінських рішень у сфері охорони довкілля та територіального планування. Просторове представлення екологічної інформації дає змогу визначати території з різним рівнем антропогенного навантаження, встановлювати пріоритетність природоохоронних заходів та оцінювати можливі наслідки реалізації господарських проєктів. Створення інтегрованих геопросторових баз даних сприяє систематизації інформації про стан природних ресурсів, джерела забруднення, землекористування та результати моніторингу. Використання таких систем підвищує оперативність аналізу екологічної інформації та створює основу для більш обґрунтованого планування природоохоронної діяльності й раціонального використання територій.

Перспективним напрямом є застосування ГІС для оцінювання екологічних ризиків і прогнозування змін стану довкілля. Просторове моделювання дає змогу визначати території, найбільш уразливі до забруднення, затоплення, ерозійних процесів, посух та інших несприятливих природних і антропогенних чинників. Інтеграція результатів екологічного моніторингу, характеристик природних умов і даних про господарську діяльність забезпечує комплексне оцінювання екологічної вразливості територій. Такі дослідження створюють наукове підґрунтя для планування природоохоронних заходів, раціонального використання природних ресурсів і зменшення екологічних ризиків [3].

Таким чином, використання геоінформаційних технологій розширює можливості екологічних досліджень завдяки комплексному аналізу просторових і часових змін природних компонентів. Поєднання ГІС, дистанційного зондування Землі, польових спостережень і лабораторних досліджень сприяє підвищенню обґрунтованості оцінювання стану довкілля, виявленню джерел антропогенного навантаження та прогнозуванню екологічних змін. Практичне застосування цих інструментів є важливою передумовою вдосконалення системи екологічного моніторингу, збереження біорізноманіття та забезпечення екологічно збалансованого природокористування.

Список літератури:

1. Hasan, M. F. (2024). Integration of GIS and Remote Sensing for Environmental Monitoring: A Systematic Literature Review . *International Journal of Research and Applied Technology*, *4*(2), 379-385. https://doi.org/10.34010/injuratech.v4i2.19687
2. Sharma, S., Beslity, J. O., Rustad, L., Shelby, L. J., Manos, P. T., Khanal, P., Reinmann, A. B., & Khanal, C. (2024). Remote sensing and GIS in natural resource management: Comparing tools and emphasizing the importance of in-situ data. *Remote Sensing*, *16*(22), 4161. https://doi.org/10.3390/rs16224161
3. HOANG TU, Le et al. GIS Application in Environmental Management: A Review. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, [S.l.], v. 39, n. 2. https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4957
4. Attia El Gayar, & Joginder Singh. (2024). Remote sensing and GIS application in agriculture and natural resource management economics . *International Journal of Agricultural Invention*, *9*(1), 150-164. https://doi.org/10.46492/IJAI/2024.9.1.21
5. Sharma, S., Beslity, J. O., Rustad, L., Shelby, L. J., Manos, P. T., Khanal, P., Reinmann, A. B., & Khanal, C. (2024). Remote sensing and GIS in natural resource management: Comparing tools and emphasizing the importance of in-situ data. *Remote Sensing*, *16*(22), 4161. https://doi.org/10.3390/rs16224161

МАЛИЧКОВИЧ Х., ЛЮТА О. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ В УМОВАХ АГРОХІМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 13, м. Львів, Україна

Abstract. The intensification of agricultural production leads to a significant increase in agrochemical load on land resources, causing soil degradation, acidification, and humus loss. This study focuses on assessing the ecological state of agricultural lands in the Sambir Region (Lviv Oblast) using geographic information systems and remote sensing data (Sentinel-2). Implementing precision agriculture, crop rotation optimization, and remote monitoring are essential steps toward sustainable land management and minimizing the negative environmental impact of mineral fertilizers and pesticides.

Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки України, проте інтенсифікація аграрного виробництва супроводжується значним зростанням антропогенного тиску на земельні ресурси. Головним чинником цього впливу є незбалансоване та надмірне застосування мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин (пестицидів, гербіцидів). Високе агрохімічне навантаження стає потужним тригером деградації ґрунтів, що проявляється у втраті гумусу, порушенні кислотно-лужного балансу та накопиченні токсичних речовин.

На прикладі Самбірського району Львівської області, де переважають дерново-підзолисті та сірі лісові ґрунти з відносно низьким природним вмістом гумусу, проблема хімічного перенавантаження набуває особливої гостроти. Зміна структури посівних площ на користь високо маржинальних, але екологічно виснажливих технічних культур (озимий ріпак, соя, соняшник) вимагає інтенсивного внесення азотних добрив та багаторазових пестицидних обробок. Систематичне перевищення екологічно безпечних норм внесення агрохімікатів призводить до поступового виснаження ґрунтів та втрати ними здатності до біологічної саморегуляції.

В умовах воєнного стану та обмеження традиційних польових досліджень пріоритетним інструментом для проведення екологічної оцінки земель стають методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС). Використання відкритих багатоспектральних супутникових знімків високої роздільної здатності, зокрема космічних апаратів європейської програми Sentinel-2, дозволяє здійснювати безперервний просторовий моніторинг стану посівів без необхідності фізичної присутності на полі.

Важливим індикатором для такої дистанційної оцінки є розрахунок вегетаційних індексів (зокрема, NDVI). Аналіз цих показників у динаміці дає можливість виявити локальні зони екологічного пригнічення, де зниження вегетації є прямим наслідком штучного закислення ґрунтів азотними добривами, погіршення їх структури або розвитку ерозійних процесів. Інтеграція статистичних даних з ГІС-моделюванням забезпечує наочну візуалізацію екологічного стану території та виділення пріоритетних зон екологічного ризику.

Зменшення масштабів деградації потребує комплексного підходу та переходу до парадигми сталого (збалансованого) землекористування. Одним із найбільш перспективних напрямів є впровадження технологій точного землеробства (Precision Agriculture), що передбачає диференційоване внесення добрив і пестицидів лише в ті зони поля, де вони дійсно необхідні. Водночас обов'язковою умовою є оптимізація структури сівозмін, розширення площ під сидеральними культурами для відновлення органічної маси та поступова заміна синтетичних препаратів на біологічні аналоги.

Для ґрунтів з підвищеною кислотністю першочерговим завданням залишається проведення хімічної меліорації (вапнування), а на схилових землях передгір'я Карпат – застосування ґрунтозахисних технологій мінімального (Mini-Till) або нульового (No-Till) обробітку. Комплексне впровадження цих заходів дозволить знизити загальне хімічне навантаження на агроекосистеми на 20-30% без втрати економічної рентабельності.

Поєднання інноваційних методів дистанційного екологічного контролю, відповідальної діяльності агропідприємств та системної політики у сфері охорони земель створює реальні передумови для збереження сільськогосподарських угідь. Формування екологічної свідомості землекористувачів та перехід до збалансованого агровиробництва є запорукою екологічної безпеки та збереження родючості ґрунтів для майбутніх поколінь.

DAVYBIDA L., MYKHAILIUK D. (UKRAINE, IVANO-FRANKIVSK)

SATELLITE-BASED MONITORING OF ATMOSPHERIC METHANE OVER URBAN AREAS IN UKRAINE

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine; lidiia.davybida@nung.edu.ua

Abstract. Sentinel-5P TROPOMI satellite observations reveal shifting atmospheric methane dynamics across nine Ukrainian urban communities between November 2018 and November 2025. Processing monthly mean concentrations in Google Earth Engine, we used linear regression to evaluate multi-year trends and compare methane trajectories between pre-war (2019–2021) and wartime (2022–2025) periods. Although atmospheric methane increased across all monitored areas – with the highest long-term rates in western Ukraine – the pace of growth decelerated significantly after 2022. Because inter-community variance remained within the bounds of statistical uncertainty, the overall temporal pattern appears remarkably uniform despite severe war-induced socio-economic and environmental disruptions.

Urbanised areas are significant sources of anthropogenic methane emissions, as they bring together various sources within compact spaces, such as solid waste disposal sites, municipal and industrial treatment facilities, gas transmission infrastructure, energy facilities and the food industry [1, 2]. However, the spatial and temporal variability of emissions in Ukrainian cities remains poorly understood, making it difficult to develop effective mitigation strategies, particularly amid large-scale military aggression [3, 4]. Satellite observations offer new opportunities to monitor methane emissions at regional and urban scales. In particular, the TROPOMI instrument on the Sentinel-5P satellite provides daily global data on column-averaged methane concentration (XCH_4), with a spatial resolution suitable for analysing large urban areas [5, 6].

Using Sentinel-5P/TROPOMI data, long-term trends in atmospheric methane XCH_4 were quantified across 9 urban territorial communities in Ukraine to contrast pre-war (2019–2021) and wartime (2022–2025) growth rates. The analysis covers Kyiv, Kharkiv, Odesa, Lviv, Ivano-Frankivsk, Uzhhorod, Dnipro, Poltava, and Mariupol. Because these municipalities encompass diverse population densities, industrial profiles, emission sources, and levels of direct wartime disruption, they provide a strong basis for comparative analysis across differing environmental contexts.

Atmospheric methane was analysed using the Sentinel-5P TROPOMI Level-3 product, which provides the column-averaged dry-air mole fraction of methane (XCH_4). Data processing and analysis were performed in the Google Earth Engine cloud platform. To improve data quality, observations with methane retrieval uncertainty exceeding 15 ppb were excluded from further analysis. Monthly mean XCH_4 values were then calculated for each urban community from November 2018 to November 2025.

Linear regression analysis revealed a consistent increase in atmospheric XCH_4 over all investigated urban communities during 2018–2025. The estimated annual increase ranged from 8.18 ppb yr^{-1} in Odesa to 10.78 ppb yr^{-1} in Lviv, while most communities exhibited growth rates between 8.5 and 10.5 ppb yr^{-1}. The coefficients of determination ($R^2 = 0.587–0.813$) indicate that linear regression adequately describes the long-term increase in atmospheric methane despite seasonal variability.

Although atmospheric methane concentrations continued to increase after 2022, the substantially lower growth rates indicate a marked slowdown in methane accumulation. None of the shifts in the relative growth rates among communities exceeded the combined standard errors of the regression slopes ($|z| < 2$), indicating that the inter-community differences were not statistically significant. These findings suggest that the observed slowdown represents a regional-scale phenomenon affecting all investigated urban communities rather than statistically distinguishable local responses. The observed pattern is consistent with wartime disruptions, including reduced industrial activity, changes in energy production and consumption, and modifications in other anthropogenic methane sources.

Western urban centres (Lviv, Uzhhorod, and Ivano-Frankivsk) experienced the highest annual growth rates, while Odesa, Kharkiv, and Dnipro recorded the lowest, with Kyiv, Poltava, and Mariupol falling in between. Nevertheless, the inter-community spread was minimal (~2.6 ppb yr^{-1}), pointing to a largely uniform long-term accumulation trajectory across Ukraine.

Fitting linear regression models to the pre-war (2019–2021) and wartime (2022–2025) datasets highlights a 51% drop in the mean annual (XCH_4) growth rate, falling from 16.05 ppb yr^{-1} to 7.83 16.05 ppb yr^{-1} (Figure 1). Every evaluated municipality exhibited post-2022 deceleration, most notably Kharkiv, Odesa, Dnipro, and Poltava, which saw rate reductions of 50–70%.

While absolute (XCH_4) levels continued upward after 2022, the rate of increase weakened considerably. Crucially, shifts in relative growth rates among municipalities did not exceed the combined standard errors of the regression slopes ($|z| < 2$), demonstrating that inter-community differences remain statistically insignificant. This uniformity indicates that the slowdown reflects a macro-regional trend – driven by systemic wartime disruptions, such as curtailed industrial output and altered energy consumption – rather than localised responses.

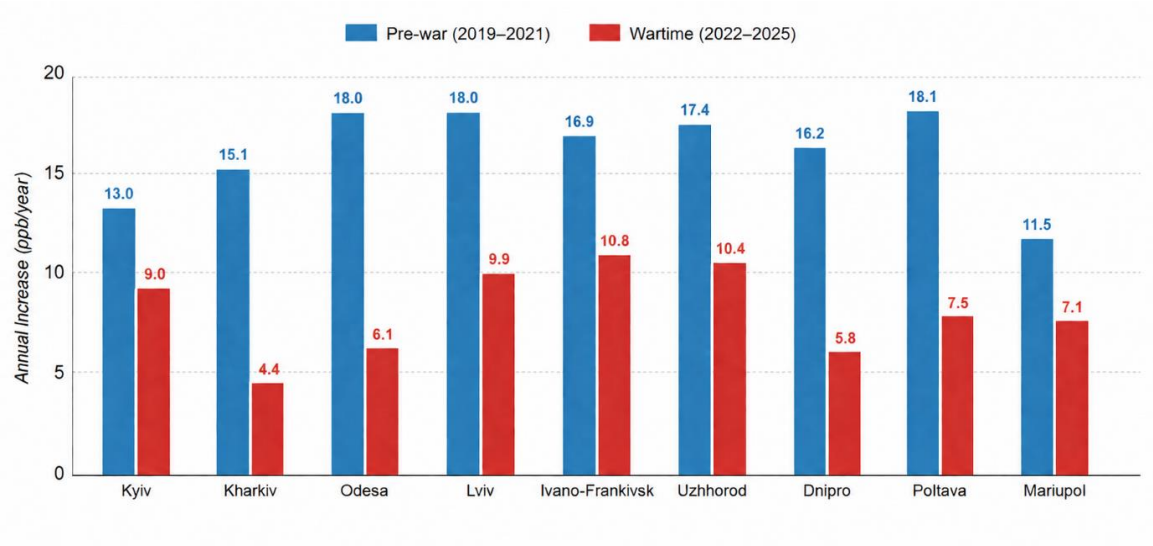


Fig. 1. Comparison of annual XCH_4 growth rates before and during the war

The pronounced difference between the pre-war and wartime trends may partly reflect the coincidence of the pre-war window with the globally elevated methane growth observed in 2020–2021, when the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) reported record annual increases, and the World Meteorological Organisation (WMO) described the largest year-on-year jumps since systematic measurements began (Global Monitoring Laboratory, 2026). Therefore, the lower post-2022 slopes may reflect both a regional response and a return to a more typical methane growth regime from an anomalously high global background. At the same time, the present analysis does not allow unambiguous separation of this effect from possible wartime influences on urban methane emissions. Overall, these findings point to a macro-regional deceleration in methane accumulation rather than isolated municipal responses. However, pre-war baseline trendlines warrant cautious interpretation, as they likely conflate local dynamics with broader interannual atmospheric fluctuations. Disentangling local anthropogenic drivers from background atmospheric variability will require future research to integrate extended satellite time series, global baseline records, and high-resolution emission inventories.

References

1. Hemati, M., Mahdianpari, M., Nassar, R., Shiri, H., & Mohammadimanesh, F. (2024). Urban methane emission monitoring across North America using TROPOMI data: an analytical inversion approach. Scientific Reports 2024 14:1, 14(1), 9041-. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58995-8.
2. Wang, X., Jacob, D. J., Nesser, H., Balasus, N., Estrada, L. A., Sulprizio, M. P., & Varon, D. J. (2026). Quantifying urban and landfill methane emissions in the United States using TROPOMI satellite data. Science Advances, 12(13). https://doi.org/10.1126/SCIADV.ADZ9308
3. Savenets, M., Nadtochii, L., Malytska, L., Kozlenko, T., Komisar, K., Umanets, A., & Rudas, M. (2026). Comprehensive analysis of air pollution surface-to-columnar changes after three years of the Russian–Ukrainian war. Environmental Science and Pollution Research 2026, 1–25. https://doi.org/10.1007/s11356-026-37512-6
4. Zalakeviciute, R., Mejia, D., Alvarez, H., Bermeo, X., Bonilla-Bedoya, S., Rybarczyk, Y., & Lamb, B. (2022). War Impact on Air Quality in Ukraine. Sustainability (Switzerland), 14(21). https://doi.org/10.3390/su142113832
5. Karpinskyi, B., & Davybida, L. (2024). Remote Sensing-Based Monitoring of Methane Emissions in the Carpathian Region. International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2024." https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510064
6. Zheng, B., Cohen, J. B., Lu, L., Hu, W., Tiwari, P., Lolli, S., & Qin, K. (2026). How can we trust TROPOMI based methane emissions estimation: calculating emissions over unidentified source regions. Atmospheric Chemistry and Physics, 26(3), 1931–1946. https://doi.org/10.5194/ACP-26-1931-2026

POPENDA A. (POLAND, CZĘSTOCHOWA)

BEYOND CONTAMINATION: NEW APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF SEDIMENTS

Częstochowa University of Technology
Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa, Poland; agnieszka.popenda@pcz.pl

Abstract. Sediments play an crucial role in the aquatic ecosystems as both sinks (accumulation, transport, transformation) and secondary sources of pollution (potential remobilization of contaminants). Conventional sediment assessment has focused on determining pollutant concentrations and comparing them with environmental quality guidelines. Although the afore mentioned approaches provide important information on the presence of contamination, assessments based solely on concentrations may not adequately reflect the actual ecological risk. Consequently, there is a growing need for integrated approaches that aim to provide a comprehensive assessment of their environmental impact.

This study presents an integrated perspective on sediment assessment that combine chemical, ecological, toxicological, and statistical lines of evidence. Particular attention is given to the application of contamination and ecological risk indices, sediment quality guidelines, toxicity-based approaches, bioavailability assessment, and multivariate statistical techniques. The integration of parameters such as enrichment factors, contamination factors, pollution indices, potential ecological risk, threshold and probable-effect concentrations, and toxicity-based metrics can provide a more comprehensive characterization of sediment quality.

Moving from contamination assessment towards integrated risk characterization may improve the identification of sediments requiring further investigation or intervention. A comprehensive assessment framework can therefore support more effective monitoring, risk-based sediment management and the development of sustainable strategies for contaminated sediment remediation and resource recovery.

References

1. Popenda, A., Wiśniowska, E., Kryłów, M. (2026). Ecological assessment of metal(loid)s in polish Canal sediments- a multimetric approach, Desalination and Water Treatment, 101604. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101604
2. Kryłów, M., Popenda, A., Wiśniowska, E. (2025). Evaluation of environmental risk caused by PAHs presence in river sediments A multi-method approach using the example of the Odra River, Desalination and Water Treatment, 324, 101552. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101552

РОМАНОВИЧ Б.М., ТИМЧУК І.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ СУБСТРАТІВ НА ОСНОВІ КОМПОСТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ҐРУНТІВ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; bohdan.m.romanovych@lpnu.ua

Abstract. Soil degradation is associated with the loss of organic matter, deterioration of soil structure, reduced water retention, and impaired biological activity. Compost-based substrates can support soil restoration by supplying organic matter and nutrients and improving soil properties. Their environmental quality should be assessed using physical, chemical, and biological indicators, including nutrient content, pH, electrical conductivity, stability, and potentially hazardous substances. Phytotoxicity tests based on seed germination and root development provide an important complementary tool for evaluating substrate safety and effectiveness. A comprehensive assessment of compost-based substrates can support their safe application in degraded soil restoration and promote circular resource management..

Деградація ґрунтового покриву є однією з ключових екологічних проблем, що супроводжується втратою органічної речовини, погіршенням структури, зниженням водоутримувальної здатності та порушенням природних біологічних процесів. Відновлення таких ґрунтів потребує застосування комплексних підходів, спрямованих не лише на покращення їх фізико-хімічних властивостей, а й на відновлення біологічної активності та створення умов для формування стійкого рослинного покриву. Одним із перспективних матеріалів для цього є субстрати на основі компостів, які можуть поєднувати функції органічного добрива, ґрунтополіпшувача та джерела поживних речовин.

Екологічна якість компостних субстратів визначається сукупністю їх фізичних, хімічних і біологічних характеристик. Важливе значення мають вміст органічної речовини, співвідношення основних поживних елементів, кислотність, електропровідність, вологість і стабільність органічної маси. Водночас використання компостів для відновлення деградованих земель потребує контролю вмісту потенційно небезпечних компонентів, зокрема важких металів, надлишкових солей та інших забруднювальних речовин. Недостатньо стабілізований компост також може характеризуватися підвищеною біологічною активністю, що здатна негативно впливати на розвиток рослин після внесення у ґрунт.

Оцінювання ефективності компостних субстратів доцільно проводити не лише за їх хімічним складом, а й за біологічною реакцією рослин. Фітотоксикологічні тести із використанням швидкорослих тест-культур дають змогу визначити вплив субстрату на схожість насіння, формування кореневої системи та початковий ріст рослин. Порівняння отриманих показників із контрольним ґрунтом дозволяє встановити наявність стимулювального або пригнічувального ефекту. Такий підхід є важливим для визначення оптимальної норми внесення компосту, оскільки надмірна кількість органічного матеріалу або розчинних компонентів може знижувати ефективність відновлення.

Застосування компостних субстратів може сприяти накопиченню органічної речовини, покращенню агрегатного стану ґрунту, підвищенню його здатності утримувати воду та активізації ґрунтової мікробіоти. У довгостроковій перспективі це створює передумови для формування рослинного покриву та поступового відновлення екосистемних функцій деградованих земель. Водночас результативність такого підходу залежить від властивостей вихідного ґрунту, складу компосту, ступеня його зрілості та способу застосування.

Таким чином, екологічна оцінка компостних субстратів для відновлення деградованих ґрунтів повинна базуватися на комплексному аналізі їх хімічних, фізичних і біологічних характеристик. Поєднання лабораторної оцінки якості з фітотоксикологічними тестами та аналізом змін властивостей ґрунту дозволяє обґрунтовано визначати безпечність і практичну ефективність таких матеріалів. Використання компостів у відновленні деградованих земель одночасно сприяє покращенню ґрунтових властивостей і поверненню органічної речовини в природний кругообіг, що відповідає принципам ресурсоефективного та циркулярного природокористування.

МАЛЬОВАНИЙ М., ЯНЧУК В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ПЕРЕСИХАННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua

Abstract. The problems of drying and degradation of surface water bodies under the influence of climate change, anthropogenic pressure and changes in hydrological regimes are considered. The main factors contributing to the reduction of water availability and the periodic or complete drying of rivers, streams, lakes and artificial reservoirs are analysed. An integrated approach to monitoring water bodies, assessing hydrological and ecological risks, and developing measures for their restoration and sustainable management is proposed.

Пересихання поверхневих водних об’єктів є однією з актуальних екологічних проблем, яка останніми роками проявляється зростанням тривалості маловодних періодів, зниженням рівнів води та скороченням площі водного дзеркала річок, струмків, озер і ставків. Особливо небезпечним є поєднання природних факторів із посиленням антропогенного навантаження. Зміни клімату супроводжуються підвищенням температури повітря, зміною режиму опадів, збільшенням частоти тривалих посух та інтенсивності випаровування. Одночасно водні ресурси зазнають впливу водозабору для комунальних, промислових і сільськогосподарських потреб, осушення територій, регулювання русел та трансформації водозбірних площ. Важливим чинником пересихання водних об’єктів є порушення природного водного балансу водозборів. Урбанізація, вирубування лісів, деградація ґрунтів, зменшення площ природних екосистем та недостатня водоутримувальна здатність ландшафтів сприяють прискореному поверхневому стоку і зменшенню інфільтрації атмосферних опадів у ґрунтові води. У результаті скорочується базовий стік, який забезпечує підтримання водності малих річок і струмків у посушливі періоди. Додатковою проблемою є замулення русел, зарегулювання стоку та погіршення стану прибережних і водно-болотних екосистем.

Для дослідження процесів пересихання доцільно застосовувати комплексний просторово-часовий моніторинг. Він має включати систематичні спостереження за рівнями та витратами води, температурою, кількістю атмосферних опадів, вологістю ґрунтів, станом підземних вод і показниками якості води. Перспективним є використання дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій для визначення змін площі водного дзеркала, стану русел і водозбірних територій. Поєднання польових спостережень із супутниковими даними дає змогу виявляти просторові закономірності пересихання та визначати ділянки з підвищеним ризиком деградації водних об’єктів. Оцінювання ризику пересихання повинно враховувати не лише поточний гідрологічний стан, а й довгострокові тенденції його зміни. Для цього доцільно використовувати показники мінімального стоку, тривалості меженного періоду, частоти повного припинення поверхневого стоку, рівнів ґрунтових вод та водного балансу водозбору. Важливе значення має аналіз взаємозв’язків між кількістю опадів, температурою, випаровуванням, водогосподарським навантаженням і станом екосистем. Такий підхід дозволяє перейти від фіксації наслідків пересихання до прогнозування його виникнення та оцінювання потенційних екологічних ризиків. Для запобігання пересиханню водних об’єктів необхідне впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами та природоорієнтованих рішень. До ефективних заходів можна віднести відновлення природної рослинності водозборів, ренатуралізацію русел, відновлення водно-болотних угідь, створення буферних прибережних зон, збільшення водоутримувальної здатності ґрунтів та регулювання водозабору в маловодні періоди. Важливим напрямом є також накопичення дощової та талої води в межах водозборів і забезпечення її поступового надходження до руслової мережі.

Дослідження проблем пересихання водних об’єктів має бути інтегроване з оцінюванням екологічного стану басейнів річок та прогнозуванням наслідків кліматичних змін. Реалізація системи постійного моніторингу, раннього попередження про критичне зниження водності та адаптивного управління водними ресурсами дасть змогу зменшити ризики деградації водних екосистем.

МАЛЬОВАНИЙ М.[1], БОРДУН І.[1], ПОПОВИЧ О.[1], ОЗИМОК Т.[1],
ЖУК В.[1], ТИМЧУК І.[1] (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)
НАРОНГІН-ФУДЖІКАВА М.[2] (ШВЕЦІЯ, СТОКГОЛЬМ)

ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВІД PFAS ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ МІНІМІЗАЦІЇ

[1]Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua
[2]IVL Swedish Environmental Research Institute,
Valhallavägen 81, 114 28 Stockholm, Sweden; mayumi.narongin@ivl.se

Abstract. The state of surface water pollution by oil products is analysed. Sorption methods of purification of industrial oil-containing waters using adsorbents based on widespread carbonate-containing bentonite clays are proposed. To increase their efficiency, it is advisable to modify the sorbents. A set of measures has been developed to improve environmental safety against environmental pollution by oil products through the use of sorption methods.

Пер- та поліфторалкільні речовини належать до групи стійких органічних забруднювачів, які широко застосовуються у промисловості, пожежогасінні, текстильному виробництві, косметичній та інших галузях. Їхня висока хімічна стійкість, здатність до біоакумуляції та глобального поширення створюють значні ризики для водних екосистем і здоров'я людини. В Україні проблема PFAS набуває особливої актуальності через відсутність повноцінної системи моніторингу та необхідність гармонізації екологічного законодавства з вимогами ЄС.

Для створення ефективних адсорбентів застосовано двостадійний синтез вуглецевих нанокомпозитів із біочару соломи пшениці з використанням хлориду заліза (III) та хлориду нікелю як активаторів. Комплекс структурних, порометричних і магнітних досліджень показав, що $FeCl_3$ забезпечує інтенсивний розвиток мікропористої структури, тоді як $NiCl_2$ сприяє формуванню значно більшої магнітної фази у вигляді наночастинок нікелю.

Площа питомої поверхні нанокомпозиту CFe досягла 878 м²/г, що майже у 20 разів перевищує показник вихідного біочару. Водночас нанокомпозит CNi характеризується майже десятикратним збільшенням питомої намагніченості порівняно зі зразком CFe, що забезпечує його ефективне магнітне відокремлення після очищення води. Середній розмір наночастинок магнетиту становить близько 20 нм, а нікелю – близько 100 нм.

Визначення точки нульового заряду поверхні підтвердило, що pHPZC для CNi становить 9,28, тоді як для CFe – 3,44. Оскільки PFAS у природних водах перебувають переважно у вигляді негативно заряджених аніонів, високі значення pHPZC забезпечують позитивний заряд поверхні сорбенту в діапазоні pH природних вод і підвищують ефективність їх адсорбції.

Проведені дослідження показали основні властивості синтезованих за двостадійною методикою магніточутливих композитів на основі соломи пшениці. Рентгеноструктурним та магнітним аналізом доведено, що використання хлориду заліза (III) і хлориду нікелю у органічній сировині спричинює утворення магніточутливої фази магнетиту і полікристалічного нікелю відповідно. Важливо зауважити, що ці фази є нанорозмірними, тому синтезовані матеріали можна класифікувати як нанокомпозити. За рахунок нанорозмірної магнітної фази, яка вбудована у вуглецеву матрицю, синтезовані нанокомпозити проявлятимуть добрі адсорбційні і добрі магнітні властивості для частинок композиту мікронного і субмікронного розміру.

У результаті порометричних досліджень встановлено, що хлорид заліза (III) має суттєво більший вплив на розвиток мікропористої структури вуглецевої компоненти нанокомпозиту у порівнянні із хлоридом нікелю. Однак, наночастинки нікелю при даному способі синтезу набагато інтенсивніше впроваджуються у структуру нанокомпозиту, ніж наночастинки магнетиту. Це проявляється у кращих магнітних параметрах нанокомпозиту CNi у порівнянні із нанокомпозитом CFe. Крім того, наночастинки нікелю мають середній розмір 100 нм, а наночастинки магнетиту Fe_3O_4 порядку 20 нм.

Отримані результати підтверджують перспективність використання магніточутливих вуглецевих нанокомпозитів для очищення природних і стічних вод від PFAS. Поєднання розвиненої пористої структури, високої сорбційної здатності та можливості магнітної сепарації робить такі матеріали перспективною основою для створення сучасних технологій мінімізації забруднення довкілля пер- та поліфторалкільними речовинами.

ТИМОФЕЕВ В., САВЧУК С., КИХТЕНКО Я., ТАТАРЧУК О. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ОКРЕМИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ

Український гідрометеорологічний ин-т ДСНС України та НАН України
e-mail tvvladys@gmail.com

Abstract. The state of the regional climate is viewed against the main climate-making agents, extreme weather events and the potential of the solar resources to show economic and environmental risks. The analysis of the solar energy components showed their sufficiency for the use of their energy capacity in a significant part of Ukraine. Extreme weather events (EWE) took the first place in the list of global risks ranked by probability, and world statistics show that 90% of the largest economic losses are caused by EWE, such as rainfalls, floods, hail, droughts, strong winds.

У роботі стан регіонального клімату оцінено з використанням комплексу метеорологіч-них величин та явищ, з характеристиками головних зовнішніх та внутрішніх клімато-творчих факторів, з оцінками ризиків окремих небезпечних метеорологічних Явищ. Багаторічне підвищення приземної температури повітря зафіксовано у всі сезони року, що відповідає рамкам глобального потепління. процес потепління проходить більш відчутно в літньому сезоні і супроводжується дефіцитом опадів та посиленням ступеню посушливості.

Крім того, потепління супроводжується негативною тенденцією кількості опадів та ступеню аридності а також зростанням тривалості сонячного сяйва, Внаслідок чого підвищується кліматична вразливість більшості регіонів, із зростанням ймовірності посушливих явищ у центрі та півночі.

Важливо, що періоду сучасного потепління з 1980р. відповідав віковий максимум сонячної активності, а починаючи з 24го циклу, відзначено поступове зменшення сонячної активності до середини XXI ст. У зв'язку з цим зросла інтенсивністю прямої радіації та балансу сонячної радіації. Аналіз найбільш значущих характеристик геліоенергетики показав їх достатність для використання їх енергетичної спроможності на значній частині території України. За останні десятиліття відбувається певна зміна радіаційних показників, що засвідчує зростання потенціалу геліоенергетичних ресурсів в і підвищує перспективи для використання сонячної радіації у геліоенергетиці на більшості території країни. Зміни складових радіаційного режиму супроводжуються коливаннями за вегетаційний період із тенденцією посилення посушливості; що істотно впливає на умови вирощування сільськогосподарських культур.

Клімат України в цілому сприятливий для розвитку різних галузей економіки, зокрема землеробства, завдяки сприятливому рівню інсоляції та зволоженню. Але певні поєднання агрокліматичних умов можуть зумовлювати несприятливі явища, насамперед через, тенденцію посилення посушливості в літний сезон, що наносять збитки, в першу чергу сільському господарству, водопостачаннлю, оточуючому середовищу та ін. галузям.

Збільшилась частота посушливих явищ впродовж теплого та вегетаційного періодів, що необхідно враховувати при складанні довгострокових прогнозів і плануванні економіки. Посилення ступеню посушливості фіксується з початку 2000-х років із найбільшою тенденцію у 2010-2020 роках, коли посухи стали фіксуватися протягом кількох послідовних місяців або сезонів. Посушливий ефект підсилюється дефіцитом опадів протягом вегетаційного періоду, що може призвести до розширення посушливого періоду, особливо після малосніжних зим.

Виявлено тип атмосферної циркуляції, який формує умови розвитку посушливих явищ в сучасному кліматичному періоді. Сучасне потепління в Україні і східній Європі є відбиттям змін великомасштабної циркуляції в Атлантико-Європейському секторі, а також зміні у планетарній системі океан-атмосфера, особливо після кліматичного зсуву у 1980 рр. через перехід Ель-Ніньо-Південне коливання у переважно теплу фазу.

Посилення впливу антициклогенезу; з одночасним розширенням впливу Північно атлантичних ЦДА. протягом періоду сучасного потепління, підтверджується певним сполученням аномалії регіональних атмосферних індексів. Це дозволяє деталізувати причин формування аномальної погоди з отриманням важливих змін циркуляції атмосфери та прогностичний потенціал основних індексів.

БАЛАБАК О.А. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

КРИТЕРІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО ОПТИМУМУ ТА РИЗИКИ ВИРОЩУВАННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ CORYLUS В УКРАЇНІ

Уманський національний університет
20300, вул. Інститутська, 1, Умань, Україна; oleksandr.balabak2@unu.edu.ua

Abstract. The study examines seasonal development and adaptability of hazelnut (Corylus maxima Mill.) cultivars in Ukraine's Right-Bank Forest-Steppe, focusing on temperature effects on phenology and flowering synchrony. The findings suggest greater adaptability in Dolynskyi, Obilnyi and Ukraina-50 and lower environmental tolerance in Futkurami. Phenological characteristics may guide cultivar and pollinizer selection and help assess cultivation risks under climate change.

Сезонна динаміка росту й розвитку фундука дає змогу оцінити, наскільки умови нового місцезростання відповідають біологічним потребам рослин. Для інтродукованих сортів перебіг фенологічних фаз є показником пристосування до місцевого клімату та основою планування догляду за насадженнями. Знання строків настання окремих етапів розвитку потрібне для вибору агротехнічних прийомів, своєчасного захисту від хвороб і шкідників та визначення оптимального періоду збирання горіхів.

З огляду на це в Правобережному Лісостепу України простежено сезонні ритми сортів *Corylus maxima* Mill. Спостереження охоплювали початок вегетації, утворення бутонів, цвітіння, ріст пагонів і плодоношення, а також завершення вегетаційного періоду та перебування рослин у стані спокою. Сукупність цих характеристик належить до провідних біоекологічних і господарсько-біологічних ознак, за якими визначають відповідність умов інтродукції природним вимогам культури [1, 2].

У Правобережному Лісостепу фундук вирощують як інтродуковану культуру, походження якої пов'язане із субтропічною зоною Середземномор'я. Місцеві ґрунтові та кліматичні особливості не повною мірою задовольняють його вимоги. Серед зовнішніх чинників, що визначають розвиток рослин, суттєве значення мають освітленість, тепловий режим, забезпеченість ґрунту вологою та вологість повітря. У дослідженні головну увагу приділено температурі, оскільки її зміни впливають на строки переходу від однієї фенофази до іншої. Вихід температурних показників за межі оптимального діапазону супроводжується пригніченням життєдіяльності рослин [2, 3].

У дослідженнях, проведених у Північному Лісостепу України, послідовність фенологічних змін у фундука пов'язують із накопиченням суми активних температур. За врахування температур від 5 °C початку цвітіння жіночих квіток відповідає середнє значення цієї суми 68,3 °C, а чоловічих — 106,4 °C. Тривалість цвітіння також змінюється залежно від погодних особливостей року: для жіночих квіток вона становить 18–35 діб, тоді як для чоловічих — 11–14 діб [2].

Порівняння сортів за перебігом розвитку генеративних органів виявило їх підвищену чутливість до умов вирощування та дало змогу окреслити відмінності в адаптаційних можливостях. Кращу пристосованість до змін середовища продемонстрували Долинський, Обільний та Україна-50. Це опосередковано свідчить про здатність цих сортів витримувати ширший діапазон коливань екологічних чинників.

Для Футкурамі фенологічні спектри вказують на вужчі межі такої витривалості й, відповідно, менший потенціал адаптації до стресових впливів. Решта досліджених сортів на зазначених етапах онтогенезу також виявила помітну чутливість. Отже, особливості генеративного розвитку можуть бути одним із критеріїв добору сортів для Правобережного Лісостепу України та оцінювання ризиків їх вирощування. Значення цього критерію зростає за глобальних кліматичних змін, що супроводжуються переходом від континентального до різкоконтинентального характеру клімату.

Список літератури:

1. Alasalvar, C., Shahidi, F., Amaral, J. S., & Oliveira, B. P. P. (2009). Compositional characteristics and health effects of hazelnut (*Corylus avellana* L.): An overview. In C. Alasalvar & F. Shahidi (Eds.), *Tree nuts: Composition, phytochemicals, and health effects* (pp. 185–214). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420019391.ch12
2. Rezaei, F., Bakhshi, D., Fotouhi Ghazvini, R., Javadi Majd, D., & Pourghayoumi, M. (2014). Evaluation of fatty acid content and nutritional properties of selected native and imported hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties grown in Iran. *Journal of Applied Botany and Food Quality, 87*, 104–107. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.016
3. Labell, F. M. (1992). Hazelnuts supply flavor and crunch. *Food Processing USA, 53*, 92–94.

ЛОПОТИЧ Н.Я. (УКРАЇНА, ДУБЛЯНИ)

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСФОРМОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ЯЗІВСЬКОГО СІРЧАНОГО РОДОВИЩА

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького 80381, вул.В.Великого,1 Дубляни, Україна

Abstract. The development of the Yazivske sulfur deposit by the Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" resulted in a significant transformation of the natural environment in the Yavoriv district of the Lviv region. Prolonged mining operations created a technogenically transformed landscape characterized by substantial changes in hydrological and hydrogeological regimes. The karst nature of the ore-bearing aquifer complex, combined with its hydraulic connection to surface waters, led to a significant inflow of water into the open-pit mine. At the initial stage of deposit development, the inflow rate was approximately 65,000 m³/day, subsequently rising to 110,000–150,000 m³/day [3]. Dewatering operations within the quarry altered the direction of groundwater flow, transforming areas of natural discharge into recharge zones. Significant ground surface deformation, particularly within river valleys, facilitated the formation of numerous karst sinkholes. These cavities caused rapid infiltration of surface water, which in turn led to the disappearance of some natural springs [2].

Промисловий видобуток сірки відкритим способом супроводжувався істотним порушенням земної поверхні та природних компонентів ландшафту. Такі порушення доцільно розглядати як ландшафтні та екологічні. Ландшафтні зміни пов’язані безпосередньо з механічним руйнуванням земної поверхні під час відкритого видобування сірки, що зумовлює трансформацію рельєфу, рослинного та ґрунтового покриву. Екологічні порушення проявляються у зміні або втраті природних умов існування біоти на територіях гірничого відводу та прилеглих землях, що супроводжується зниженням їхньої біологічної продуктивності та погіршенням екологічного стану довкілля [3].

Гірничі роботи спричинили істотні зміни гідрогеологічного режиму території та збільшення обсягів стоку рудникових і шахтних вод. Такі води характеризуються наявністю значної кількості потенційно небезпечних забруднювальних компонентів, зокрема хлоридів, сірчаної кислоти, а також розчинних сполук заліза, марганцю, міді, цинку, нікелю та інших елементів. Особливу екологічну небезпеку становлять важкі метали та токсичні елементи, серед яких кадмій, молібден, нікель, цинк, ванадій, телур, берилій, ртуть, селен, арсен і свинець [1].

Метою екологічних досліджень, проведених у 2024–2025 роках на території Яворівського ДГХП «Сірка» Львівської області, було комплексне дослідження хімічного складу поверхневих вод річки Шкло, а також наукове обґрунтування комплексу заходів і пріоритетних напрямів відновлення екологічного стану та водного балансу антропогенно трансформованих земель Язівського сірчаного родовища.

За результатами досліджень встановлено, що надходження дренажних вод кар’єру та пластових вод рудника підземної виплавки сірки до річкової системи Шкла стало одним із чинників забруднення поверхневих і ґрунтових вод. У їхньому складі виявлено підвищені концентрації сульфатів, фосфатів, завислих речовин, заліза, сполук азоту, кальцію, магнію та нітритів. Зокрема, у транскордонному пункті відбору проб, розташованому в с. Краківець, зафіксовано перевищення нормативних значень за низкою гідрохімічних показників. Концентрація сульфатів становила 1,2 ГДК, завислих речовин — 1,42 ГДК, амонійного азоту — 1,38 ГДК, загального заліза — 8,53 ГДК, фосфатів — 1,76 ГДК, кальцію — 1,16 ГДК, нітритів — 3,38 ГДК, магнію — 3,4 ГДК. Перевищення також встановлено для сухого залишку — 1,04 ГДК та загальної мінералізації — 1,11 ГДК.

На територіях, де здійснювалася підземна виплавка сірки, після вилучення рудної маси сформувалися високопроникні зони, представлені роздробленим вапняковим масивом. Водночас товща незасіркованих вапняків, що залягає вище рудного тіла, зазнала тріщиноутворення внаслідок нерівномірного осідання порід над виробленим простором. У нижній частині рудного покладу сформувалася водотривка зона, пов'язана із сірконасиченням порід. Відпрацьовані ділянки заповнилися гарячими техногенними водами, які утворилися внаслідок насичення прісного теплоносія розчинними компонентами, що вилучалися з рудної маси.

Ґрунтові води в межах ділянок підземної виплавки сірки зазнали забруднення сульфатами внаслідок самопливного надходження пластових вод зі свердловин. Додатковим чинником погіршення гідрохімічного стану є окиснення сірки, у процесі якого утворюється сірчана кислота. Це зумовлює підкислення ґрунтового середовища, унаслідок чого значення водневого показника (pH) може знижуватися до 3–4. У періоди інтенсивних атмосферних опадів кислі води можуть надходити до річкової мережі, спричиняючи погіршення якості поверхневих вод.

За відсутності суцільного глинистого водоупору поверхневі води проникають у водоносні горизонти та, переміщуючись у їх межах, взаємодіють із породами. У процесі фільтрації відбувається вилуговування органічних речовин із гірських порід, що впливає на окисно-відновні умови водного середовища та сприяє зниженню його окисно-відновного потенціалу.

У процесі фільтрації води через карстові утворення, сформовані в гіпсових породах, відбувається її збагачення сульфатами. Наявність сульфатів у поєднанні зі специфічними гідрохімічними та мікробіологічними умовами створює передумови для розвитку процесів мікробіологічного відновлення сульфатів із подальшим утворенням сірководню.

Висновки. Проведені дослідження екологічного стану поверхневих вод Язівського сірчаного рудника Яворівському ДГХП «Сірка» Львівської області показують перевищення у воді річки Шкло на кордоні з Польщею кількості сульфатів, завислих речовин, азоту амонійного, заліза загального, фосфатів, кальцію, нітритів, магнію і мінералізації.

Ґрунтові води на ділянках підземної виплавки забруднені сульфатами внаслідок самовиливу пластових вод зі свердловин. На територіях, де відбувалася відкрита розробка сірки, спостерігали зниження рівня ґрунтових вод через утворення лійкоподібних западин, що призводить до втрат джерельних вод, пониження рівня або втрати води в колодязях населених пунктів. На площах, де вели підземну виплавку сірки, відпрацьовані зони заповнені гарячою техногенною водою, яка сформувалася внаслідок насичення прісного теплоносія розчинними сполуками з руди.

Список літератури:

1. Панас, Р. М. (2011). Основи моніторингу та прогнозування використання земель. Новий Світ-2000.
2. Панас, Р. М. (1997). Особливості рекультивації земель Передкарпаття, порушених промисловими розробками самородної сірки. Вісник сільськогосподарської науки, (9), 36–38.
3. Снітинський, В. В. (2005). Біологічна рекультивація техногенних відвалів сіркодобувної промисловості Прикарпатського сірконосного басейну. Львівська державна аграрна академія.

ІВАНКІВ М.Я., ГЕРМАНОВИЧ О.М., ТУПІСЬ Р.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького, 80381, вул. В. Великого,1, Львів, Україна

Abstract. A methodological approach to the integrated assessment of environmental risks in urbanized areas is substantiated based on the combination of digital monitoring data and geoinformation analysis. A sequence for integrating data from stationary monitoring stations, low-cost sensors, satellite products, and geospatial data layers is proposed, taking into account their spatial and temporal consistency. The need to account for uncertainty under conditions of limited input data and to prioritize territories according to the urgency of environmental protection measures is substantiated. The study is methodological in nature and requires further validation using data from a specific urbanized area.

Оцінювання екологічних ризиків урбанізованих територій потребує комплексного врахування інформації про стан довкілля, просторове розташування джерел небезпеки та вразливість об’єктів, що зазнають впливу. Висока концентрація населення, транспортних потоків, промислових і комунальних об’єктів формує просторово неоднорідне антропогенне навантаження. Традиційні мережі стаціонарних постів не завжди забезпечують достатню просторову деталізацію його змін. Перспективним напрямом є інтеграція наземних, сенсорних, супутникових і геопросторових даних для підвищення деталізації та інформативності екологічного моніторингу.

Водночас достовірність цифрових даних залежить від якості вихідної інформації, калібрування сенсорів, просторової та часової узгодженості спостережень. Низьковартісні сенсори можуть характеризуватися похибками вимірювання, перехресною чутливістю, дрейфом показників та залежністю від умов навколишнього середовища, що зумовлює необхідність їх калібрування і валідації. Тому актуальним є розроблення методичного підходу, який поєднує цифровий моніторинг і геоінформаційний аналіз з урахуванням достовірності та невизначеності вихідних даних.

Мета роботи – обґрунтувати методичний підхід до оцінювання екологічних ризиків урбанізованих територій на основі інтеграції даних цифрового моніторингу та геоінформаційного аналізу для визначення пріоритетних природоохоронних заходів.

Інформаційну основу дослідження становлять вторинні дані регіональних доповідей про стан довкілля, екологічних паспортів, статистичної звітності, матеріалів державного та муніципального моніторингу, а також відкритих ресурсів Copernicus і платформ громадського моніторингу якості атмосферного повітря. З огляду на обмежений доступ до окремих даних в умовах воєнного стану передбачено використання наявної відкритої інформації. Робота має методичний характер і не містить результатів емпіричної апробації запропонованого підходу.

Запропоновано чотириетапну послідовність оцінювання: **збір даних → інтеграція та просторове узгодження → оцінювання ризику → обґрунтування природоохоронних заходів.**

На першому етапі формується інтегрована інформаційна база, до якої включають результати наземних спостережень, показники низьковартісних сенсорів, супутникові дані та геоінформаційні шари. Останні можуть містити відомості про землекористування, щільність населення, зелені зони, транспортну мережу та розташування потенційно небезпечних об’єктів. Отриману інформацію приводять до єдиної системи координат, узгоджують за одиницями вимірювання та часовими інтервалами і перевіряють на якість. Показники сенсорів використовують після оцінювання їхньої достовірності, тоді як супутникові показники стану земного покриву та довкілля розглядають як додаткові просторові характеристики, а не як безпосередню заміну наземним вимірюванням.

На другому етапі здійснюється інтеграція та просторове узгодження різнорідних джерел інформації з урахуванням їхньої роздільності й достовірності. Для показників, отриманих із декількох джерел, доцільно застосовувати зважене узгодження, за якого більш надійним даним надається більша вага. У результаті формується узгоджене просторове представлення показників рівня небезпеки, експозиції та вразливості.

На третьому етапі для кожної просторової одиниці здійснюється інтегральне оцінювання відносного рівня екологічного ризику або просторової пріоритетності території. При цьому враховують інтенсивність небезпечного чинника, експозицію, тобто рівень контакту об’єкта впливу з небезпечним чинником, та його вразливість. Показники нормують до єдиної шкали, а їхню відносну

значущість визначають за обґрунтованими ваговими коефіцієнтами, отриманими експертним, статистичним або комбінованим методом. Вибір ваг доцільно перевіряти за допомогою аналізу чутливості, що дає змогу оцінити стійкість результатів до зміни вихідних припущень . Населення, екосистеми та інфраструктуру розглядають як окремі групи об’єктів впливу, уникаючи подвійного врахування однакових показників.

Особливе значення має врахування невизначеності за недостатньої кількості даних. У такому разі окремі параметри доцільно задавати інтервалами можливих значень, визначеними на основі оцінок похибки вимірювання, діапазонів варіабельності даних або обґрунтованих сценаріїв. За повної відсутності інформації не слід автоматично приймати значення відповідного показника за нуль, оскільки це може призвести до необґрунтованого заниження оціненого ризику. Отриманий інтегральний показник доцільно трактувати як характеристику відносної просторової пріоритетності територій, а не як безпосередню ймовірність аварії, захворювання чи величину очікуваних збитків.

На четвертому етапі результати просторового оцінювання використовують для визначення пріоритетних природоохоронних заходів. Залежно від характеру та джерела впливу такими заходами можуть бути скорочення викидів, удосконалення систем очищення, розвиток зелених зон, ліквідація несанкціонованих місць розміщення відходів, оптимізація транспортних потоків та інші технологічні й організаційні рішення. Їхню ефективність доцільно визначати за допомогою сценарного аналізу з урахуванням невизначеності. Водночас дотримання обов’язкових екологічних нормативів необхідно оцінювати окремо, оскільки низьке значення інтегрального показника не може компенсувати перевищення нормативно встановленого значення окремого показника.

Практична реалізація інтегрованих цифрових систем пов’язана з проблемами інтероперабельності даних, калібрування сенсорів, обмеженості обчислювальних ресурсів, кібербезпеки та інституційної фрагментації. Тому доцільно використовувати модульну архітектуру, відкриті формати даних і поетапне розширення функціональних можливостей системи. Такий підхід є особливо актуальним для територій із недостатньою мережею спостережень та обмеженим доступом до екологічної інформації.

Отже, інтеграція даних стаціонарних постів, низьковартісних сенсорів, супутникових продуктів і геоінформаційних шарів створює передумови для підвищення просторової деталізації оцінювання екологічних ризиків урбанізованих територій. Запропонований чотириетапний підхід забезпечує послідовне перетворення різнорідної моніторингової інформації на основу для просторового ранжування територій і визначення пріоритетних природоохоронних заходів. Урахування невизначеності підвищує обґрунтованість оцінювання за умов дефіциту вихідних даних. Подальші дослідження мають бути спрямовані на апробацію запропонованого підходу на даних конкретного міста, удосконалення методів калібрування сенсорів та обґрунтування критеріїв прийнятності екологічного ризику.

Список літератури:

1. Nalakurthi N. V. S. R., Abimbola I., Ahmed T. et al. Challenges and Opportunities in Calibrating Low-Cost Environmental Sensors. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 11. Article 3650. DOI: 10.3390/s24113650.
2. Dufitimana E., Gahungu P., Uwayezu E. et al. Integrating Machine Learning and Geospatial Data for Mapping Socioeconomic Vulnerability to Urban Natural Hazard. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2025. Vol. 14, No. 4. Article 161. DOI: 10.3390/ijgi14040161.
3. OECD, European Union, European Commission, Joint Research Centre. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Paris: OECD Publishing, 2008. 162 p. DOI: 10.1787/9789264043466-en.

СЕМІНАР 2

ВІДНОВЛЮВАНІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

ВОЙНАЛОВИЧ В.О. (УКРАЇНА, КИЇВ)

НАТУРНА АПРОБАЦІЯ РЕЖИМУ COLDTRT ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СВЕРДЛОВИННИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Київський національний університет будівництва і архітектури
03037, просп. Повітряних Сил, 31, Київ, Україна; mail@voinalovych.com

Abstract. The paper presents the 2025 field implementation of the author-defined coldTRT mode, in which heat is extracted from a borehole heat exchanger by an automated reversible heat-pump unit. Four existing and four newly constructed 80-m boreholes at one site in Kyiv Region were tested. Synchronized temperature, flow, pressure, ambient and equipment-state data were recorded at 1-s intervals. Comparable effective ground conductivities but substantially different effective borehole resistances confirmed the suitability of coldTRT for in-situ construction-quality assessment and for evidence-based borefield design.

Реакція теплового сприйняття свердловинного геотермального теплообмінника є джерелом вихідних параметрів для проєктування ґрунтових теплонасосних систем, оскільки дає змогу оцінити ефективну теплопровідність масиву ґрунту та ефективний термічний опір конструкції свердловини. У роботі термін coldTRT використано як авторське скорочене позначення різновиду thermal response test, у якому тепловий вплив створюється не електричним нагріванням, а контрольованим відбором теплоти реверсивним тепловим насосом. Така схема наближує дослід до зимового режиму геотермального ґрунтового теплового насосу, але водночас потребує реєстрації впливів зовнішньої температури, модуляції компресора, циклів розморожування та зміни витрати. Метою натурної апробації було перевірити працездатність coldTRT у виробничих умовах і встановити, чи можна за його результатами розрізнити вплив ґрунтового масиву та якості спорудження теплообмінника.

Дослідження виконано у травні–червні 2025 р. на ділянці логістично-складського комплексу в Бориспільському районі Київської області. Наявне геотермальне поле складалося зі 140 теплообмінників, споруджених у 2021 р. та експлуатованих щонайменше протягом двох опалювально-охолоджувальних сезонів. Для порівняння відібрано чотири наявні й чотири нові теплообмінники, випробувані приблизно через 14 діб після спорудження. Усі дослідні свердловини мали активну глибину 80 м, номінальний діаметр 160 мм і одиночну U-подібну поліетиленову трубу 40×2,4 мм. Наявні свердловини були заповнені матеріалом на основі бентоніту з розрахунковою теплопровідністю близько 0,60 Вт/(м·К) і відстанню між гілками труби близько 50 мм. У нових свердловинах застосовано заводський морозостійкий тампонаж із паспортною теплопровідністю 1,47 Вт/(м·К), подаванням знизу вгору та фіксаторами, що підтримували відстань близько 75 мм.

Експериментальна установка autoTRT містила повітряно-водяний тепловий насос номінальною потужністю 6-8 кВт, чотири незалежні циркуляційні контури, гідравлічний розділювач, насос, розширювальну ємність, засоби видалення повітря, ультразвуковий витратомір і систему автоматизованого збирання даних. Температурне поле контролювали 13 каналами Pt1000; додатково фіксували тиск, стан обладнання та температуру зовнішнього повітря. Робочою рідиною був водний розчин пропіленгліколю концентрацією близько 23 %. Дані реєстрували з інтервалом 1 с. Перед серією виконували польове взаємне калібрування температурних каналів, перевірку нульової витрати, герметичності, видалення повітря і синхронізації часу. Показання витратоміра коригували з урахуванням температури й концентрації теплоносія; первинні значення та всі поправки зберігали окремо, що забезпечувало простежуваність оцінки невизначеності відповідно до загальних принципів JCGM 100:2008.

Програма одного циклу досліджень передбачала послідовне випробування чотирьох теплообмінників, за наступним сценарієм: початковий моніторинг, 72 год активного відбору теплоти, 24 год стабілізації та подальший моніторинг відновлення температури; сумарна планова тривалість становила 384 год. Початок аналізованої ділянки визначали за одночасно підтвердженими станами циркуляції та роботи теплового насоса. Зупинки, розморожування, зміни завдання і втрати зв’язку не вилучали з первинного масиву, а позначали подіями. Погонне теплове навантаження розраховували за синхронізованими температурою подавання і повернення теплоносія, скоригованою об’ємною витратою, температурно залежними густиною та теплоємністю розчину і активною глибиною свердловини. До оцінювання допускали лише інтервали з достатньою тривалістю, стабільним навантаженням, фізично коректним від’ємним нахилом температури в координаті ln(t) та прийнятною невизначеністю апроксимації.

Таблиця 1

Програма та узагальнені результати натурної апробації coldTRT

Показник	Наявні теплообмінники	Нові теплообмінники
Кількість; активна глибина	4; 80 м	4; 80 м
Стан на час випробування	Споруджені 2021 р.; ≥2 сезони експлуатації	Споруджені приблизно за 14 діб
Активний запис coldTRT	Близько 55–60 год на випробування	Близько 55–60 год на випробування
Середня λeff, Вт/(м·К)	2,396	2,471
Середній Rb,eff, м·К/Вт	0,253	0,085

Середня ефективна теплопровідність для наявної та нової груп становила відповідно 2,396 і 2,471 Вт/(м·К); різниця 0,075 Вт/(м·К), або 3,13 %, була меншою за міжсвердловинний розкид. Це узгоджується з розташуванням обох груп у межах однієї ділянки та не дає підстав стверджувати про відмінність ґрунтового масиву. Натомість середній ефективний термічний опір теплообмінника зменшився з 0,253 до 0,085 м·К/Вт, тобто на 66,6 %, причому значення всіх нових свердловин були нижчими за значення всіх наявних. Діагностичні критерії Велча і Манна–Вітні також вказали на відмінність груп, однак за n=4 їх не можна трактувати як універсальний доказ. Результат коректно характеризувати як ділянково-специфічне порівняння двох комплексів конструктивно-технологічних рішень.

Подібність λ_{eff} та виразна відмінність $R_{b,eff}$ дають змогу відокремити інтегральну реакцію ґрунту від характеристик спорудженої свердловини. Менший опір нових теплообмінників узгоджується із застосуванням теплопровідного тампонажу, безперервним заповненням знизу вгору та контрольованим рознесенням гілок U-труби. Водночас ці чинники змінювалися разом, тому дослід не визначає окремого внеску кожного з них і не є прямим вимірюванням теплопровідності тампонажного матеріалу. Передавання отриманих параметрів у проєктну модель реального об’єкта стало підставою для рішення, яке скоротило необхідну кількість нових свердловин і бюджет геотермального поля на 35 % відносно попередньої альтернативи. Цей показник є наслідком конкретної конфігурації та не повинен переноситися на інші об’єкти без власного дослідження.

Натурна апробація підтвердила, що coldTRT може використовуватися не лише для одержання проєктного значення ефективної теплопровідності, а й для приймального контролю споруджених свердловинних теплообмінників. Автоматизоване перемикання контурів, калібрування в робочому температурному діапазоні, секундний запис і збереження подій формують відтворюваний ланцюг від вимірювання до проєктного рішення. Подальші дослідження мають передбачати повторні сезонні цикли, випробування контрольних свердловин зі зміною одного конструктивного чинника, незалежне оцінювання невизначеності та порівняння з традиційним режимом теплового нагнітання. Такі роботи необхідні для встановлення меж застосовності coldTRT та підготовки методичних положень щодо його стандартизованого використання.

Список літератури:

[1] International Organization for Standardization. (2015). Geotechnical investigation and testing—Geothermal testing—Determination of thermal conductivity of soil and rock using a borehole heat exchanger (ISO 17628:2015). ISO.
[2] Spitler, J. D., & Gehlin, S. E. A. (2015). Thermal response testing for ground source heat pump systems—An historical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 1125–1137. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.061
[3] Gustafsson, A.-M., & Westerlund, L. (2011). Heat extraction thermal response test in groundwater-filled borehole heat exchanger—Investigation of the borehole thermal resistance. Renewable Energy, 36(9), 2388–2394. https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.12.023
[4] Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008). BIPM. https://doi.org/10.59161/JCGM100-2008E

ЛИСАК О.О., МОШНОРІЗ М.М. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

АТМОСФЕРНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ ЯК ВЗАЄМОДОПОВНЮВАЛЬНИЙ РЕСУРС ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ

Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна; lysak.fyi@gmail.com

Abstract. Hybrid renewable systems rely on the complementarity of their sources, but solar and wind are both weather-driven and may be unavailable simultaneously, which is critical for autonomous low-power nodes. The fair-weather atmospheric electric field is considered as an additional, weakly correlated resource: its power level is far lower, while its temporal availability approaches unity. Yet harvesting it requires a corona discharge, so the conversion channel availability is tied to the wind subsystem.

Для автономних малопотужних споживачів (метеостанцій, вузлів телеметрії та моніторингу) важливий не лише рівень потужності джерела, а й частка часу, коли ця потужність доступна. Гібридизація відновлюваних джерел зменшує перерви в живленні завдяки взаємодоповнюваності (компліментарності) їхніх графіків генерації, яку зазвичай оцінюють кореляційним коефіцієнтом між часовими рядами ресурсів [1]. Проте найуживаніші сонячний і вітровий ресурси зумовлені погодою й можуть бути недоступні одночасно (безвітряна ніч, тривала зимова хмарність).

Як додатковий ресурс, слабко корельований із ними в часі, доцільно розглянути електричне поле атмосфери. Різниця потенціалів між іоносферою та поверхнею Землі — близько 250 кВ, густина вертикального струму провідності в приземному шарі за умов «хорошої погоди» — близько 2 пА/м^2 [2]. За рівнем потужності воно не конкурує із сонячним і вітровим, проте існує незалежно від пори року й часу доби: частка часу, коли ресурс наявний, наближається до одиниці.

Наявність ресурсу ще не гарантує відбору енергії, тому слід розрізняти доступність ресурсу ($k_р$) та доступність каналу його перетворення на енергію для навантаження ($k_к$). Коефіцієнт часової доступності визначимо як $k = T_д/T$, де $T_д$ — сумарна тривалість інтервалів доступності за розрахунковий період T. Для атмосферного поля $k_р \to 1$, а $k_к$ визначається способом відбору.

Відбір струму з атмосферного поля потребує іонізації повітря навколо колектора, яку забезпечує коронний розряд. За напруженості поля «хорошої погоди» розряд самочинно не виникає, а примусова ініціація часто споживає більше енергії, ніж відбирається [5]. У запропонованій схемі [5, 6] розряд ініціює електростатичний генератор, який у гібридній установці має спільний з вітровим агрегатом аеродинамічний привід, тож енергія на іонізацію надходить від вітру. На відміну від радіоізотопних [3, 4] і полум'яних іонізаторів, така схема не вносить у довкілля ні радіоактивних матеріалів, ні продуктів згоряння. Проте $k_к$ корелює з вітровим ресурсом: за штилю іонізація припиняється, і перевага атмосферного поля за часовою доступністю реалізується не повністю.

Отже, атмосферне електричне поле доцільно розглядати не як альтернативу сонячному й вітровому ресурсам, а як додатковий слабко корельований компонент гібридної системи автономного живлення; критерій доцільності його введення — скорочення сумарної тривалості інтервалів одночасної недоступності джерел. Далі передбачено кількісно оцінити коефіцієнти доступності, компліментарність трьох ресурсів [1] та енергетичний баланс автономного вузла.

Список літератури:

1. Jurasz, J., Canales, F. A., Kies, A., Guezgouz, M., & Beluco, A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. Solar Energy, 195, 703–724. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.087
2. Rycroft, M. J. (2025). Some recent key aspects of the DC global electric circuit. Atmosphere, 16, Article 348. https://doi.org/10.3390/atmos16030348
3. Plauson, H. (1920). Gewinnung und Verwertung der atmosphärischen Elektrizität. Hamburg: Boysen & Maasch.
4. Jefimenko, O. (1971). Operation of electric motors from the atmospheric electric field. American Journal of Physics, 39(7), 776–779. https://doi.org/10.1119/1.1986281
5. Лисак, О. О., & Мошноріз, М. М. (2026). Методи відбору атмосферної електрики: обмеження та перспективи розвитку. У Матеріали LV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2026). Вінниця: ВНТУ.
6. Лисак, О. О., & Мошноріз, М. М. (2026). Підвищення ефективності систем відбору атмосферної електричної енергії шляхом активної аеродинамічної іонізації. У Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Вінниця: ВНТУ.

ПОПОВИЧ С.П., МАКСИМЮК А.Б.,
МАЛЬОВАНИЙ М.С, ПОПОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Національний університет Львівська політехніка
79000, вул. С Бандери, 12, Львів, Україна; lpolenaeko@yahoo.com

Abstract. The relevance of a detailed consideration of heat pumps is due not only to the energy challenges of our time, but also to the desire to reduce operating costs, increase the reliability of autonomous heating systems and minimize the negative impact on the environment. In view of this, it is important to understand both the advantages that make heat pumps an attractive solution and their disadvantages that may limit the feasibility of implementation in certain conditions.

Забезпечення населення та інших споживачів необхідною кількістю теплової енергії є одним із важливих завдань сучасної енергетичної системи. Значна частина енергоресурсів у житловому секторі використовується для опалення та підтримання необхідних параметрів мікроклімату, що зумовлює вагомий вплив теплопостачання на загальний рівень енергоспоживання. Водночас традиційна теплова генерація, що переважно базується на спалюванні природного газу, вугілля та інших викопних палив, характеризується високою ресурсомісткістю, значними експлуатаційними витратами та залежністю від доступності енергоресурсів. Додатковою проблемою є негативний вплив таких технологій на довкілля, пов’язаний із викидами парникових газів і забруднювальних речовин. Сукупність зазначених чинників зумовлює необхідність пошуку та впровадження більш енергоефективних і екологічно безпечних способів виробництва та використання теплової енергії.

У сучасному світі, де питання енергетичної безпеки та екологічної стійкості набувають дедалі більшої актуальності, використання відновлювальних джерел енергії стає пріоритетним Декарбонізація теплопостачання є ключовою умовою виконання ЦСР 7, оскільки перехід від спалювання викопного палива до використання біомаси, теплових насосів та геотермальних джерел радикально зменшує викиди CO_2. Серед різноманіття технологій, що застосовуються для забезпечення опалення, теплові насоси вирізняються як ефективне рішення, яке може покривати потреби житлових будівель у теплі, водночас скорочуючи викиди парникових газів і зменшуючи залежність від традиційних видів палива. Ці установки дозволяють використовувати низькопотенційну енергію ґрунту, води чи атмосферного повітря для забезпечення теплових потреб будівель. З екологічної точки зору, впровадження таких систем сприяє зменшенню викидів CO_2, поліпшенню екологічної ситуації та виконанню міжнародних зобов’язань України у сфері кліматичної політики. Імплементація екологічних директив актуалізує перехід до інтелектуальних систем теплозабезпечення четвертого та п'ятого поколінь (4GDH/5GDH), здатних акумулювати вторинні енергетичні скиди та диверсифіковані альтернативні джерела.

Теплоенергетика є однією з фундаментальних сфер енергетичного комплексу, адже забезпечує теплом житловий сектор, соціальні об’єкти та промисловість. Водночас ця галузь стикається з комплексом екологічних проблем, які з кожним роком стають гострішими. Серед найважливіших — забруднення атмосферного повітря, утворення значних обсягів відходів, низька енергоефективність старих систем і надмірні теплові втрати.

Ситуацію ускладнює те, що в багатьох країнах, зокрема й в Україні, частина теплопостачальних систем була збудована десятиліттями раніше та давно вичерпала свій ресурс. Через це вони працюють з підвищеними втратами й не відповідають сучасним екологічним нормам.

Одним із найбільш суттєвих екологічних наслідків використання викопного палива є забруднення атмосферного повітря. Під час спалювання вугілля, нафтопродуктів та природного газу утворюються вуглекислий газ, оксиди азоту та інші забруднювальні речовини. При використанні твердого палива додатково можуть утворюватися тверді частинки та сполуки сірки. Надходження таких речовин в атмосферу погіршує якість повітря та може негативно впливати на здоров’я населення й стан природних екосистем. Ще одним важливим аспектом є вплив теплоенергетики на кліматичні зміни. Значні обсяги викидів парникових газів, пов’язані з використанням викопного палива, сприяють посиленню глобального потепління. Зміна кліматичних умов, своєю чергою, впливає на характер енергоспоживання будівель, зокрема на потребу в опаленні та охолодженні приміщень.

Окрім негативного впливу на здоров'я людей, викиди CO_2 та метану сприяють глобальному потеплінню та кліматичним змінам**,** що в довгостроковій перспективі створює додатковий тиск на енергетичні системи, збільшуючи попит на охолодження влітку та опалення взимку.

Зростає й проблема міського мікроклімату: викиди теплової енергії та забруднювачів у густонаселених районах сприяють формуванню «теплових островів», збільшуючи температуру в містах та погіршуючи якість життя.

Попри появу новітніх технологій, вони не завжди дозволяють повністю усунути негативні наслідки використання викопного палива. Наприклад, системи очищення димових газів зменшують кількість шкідливих речовин, але не забезпечують повного очищення. Крім того, вони потребують значних фінансових інвестицій, що робить їх недоступними для багатьох підприємств, особливо малих котелень.

Ще однією вагомою екологічною проблемою теплоенергетики є утворення твердих відходів. Під час спалювання палива утворюються зола, шлаки та інші залишки, які часто не переробляються. Їхнє накопичення на полігонах забруднює ґрунт та підземні води, займає великі земельні площі та створює загрозу потрапляння токсичних речовин у навколишнє середовище.

Світовий досвід (Швеція, Німеччина, Австрія, США, Японія, Фінляндія) підтверджує широке поширення теплових насосів та ефективність державної підтримки їхнього впровадження. В Україні, зважаючи на потребу підвищення енергетичної незалежності та модернізації систем опалення, теплові насоси мають значний потенціал для застосування. Імплементація цілей та принципів *European Green Deal* у вітчизняний сектор теплопостачання передбачає форсований перехід до низьковуглецевих технологій, де пріоритет надається повній декарбонізації генерації та відмові від вугілля і мазуту.

Отже, теплові насоси є перспективною технологією модернізації систем теплопостачання, яка поєднує високу енергетичну ефективність із можливістю використання низькопотенційних джерел теплової енергії. Їх застосування може сприяти скороченню споживання викопного палива, зменшенню локальних викидів забруднювальних речовин та підвищенню енергетичної незалежності. Водночас ефективність і екологічний результат використання теплових насосів залежать від технічних характеристик обладнання, стану будівлі, кліматичних умов та структури виробництва електроенергії. Тому подальше поширення цієї технології в Україні доцільно поєднувати з підвищенням енергоефективності будівель, розвитком електроенергетики та створенням сприятливих економічних умов для модернізації систем опалення.

Сталість теплопостачання в контексті сучасних безпекових викликів досягається через децентралізацію генерації, оновлення магістральних мереж та впровадження когенераційних установок, які підвищують загальну стійкість системи.

Радикальне зниження питомих втрат тепла шляхом комплексної термомодернізації житлового й промислового секторів виступає базовим інструментом для забезпечення економічної доступності та раціонального споживання теплової енергії.

Реалізація засад ЦСР 7 в Україні має спиратися на європейський принцип *Renovation Wave*, що передбачає глибоку термомодернізацію будівель для досягнення стандартів з майже нульовим споживанням енергії (*NZEB*).

Зменшення споживання енергії та ліквідація її втрат разом із наданням послуг, яких потребують суспільство та економіка, вимагає не лише виведення на масовий ринок більш ефективного, рентабельного, екологічного та розумного обладнання, продуктів і послуг, але також інтеграції компонентів і пристроїв таким чином, щоб забезпечити їх взаємодію для оптимізації загального споживання енергії будівлями, послугами і промисловістю.

У такий спосіб покращена енергоефективність може забезпечити один із найбільш економних методів зменшення енергетичних потреб, що в свою чергу посилить безпеку енергопостачання, знизить екологічний і кліматичний вплив і стимулюватиме конкурентоспроможність. Для вирішення зазначених проблем важливим є подальший розвиток відновлюваних джерел енергії та використання потенціалу енергоефективності.

Список літератури:

1. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_028-132.European Parliament and Council. Directive (EU) 2024/1275 of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast).3. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275&pk_keyword=Energy&pk_content=Directive

Семінар 2 **Seminar 2**

МАКСИМЮК А.Б., ПОПОВИЧ С.П., ПОПОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В КОНТЕКСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Національний університет Львівська політехніка
79000, вул. С Бандери, 12, Львів, Україна; lpolenaeko@yahoo.com

Abstract. In the context of energy transformations, the development of a modern air quality monitoring system is becoming particularly relevant. Its task is not limited to recording current concentrations of pollutants and instances of exceedances of regulatory limits, but also includes collecting data for a comprehensive assessment of air quality.

Забруднення атмосферного повітря залишається однією з ключових екологічних проблем, а енергетичний сектор є важливим чинником формування антропогенного навантаження на атмосферу. Виробництво електричної та теплової енергії, промислові процеси, транспорт та інші пов'язані з енергоспоживанням процеси супроводжуються викидами твердих частинок $Тч_{2.5}$ і $Тч_{10}$, оксидів азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю та інших забруднювальних речовин.

За даними Європейської комісії, лише виробництво енергії та опалення формують близько 60% викидів SO_2, а поступове скорочення використання викопного палива та збільшення частки відновлюваних джерел енергії розглядаються як важливі напрями зменшення викидів та наближення до цілей кліматичної й енергетичної стійкості.

Відповідно до сучасних тенденцій розвитку, енергетичний перехід передбачає не лише декарбонізацію енергетики, а й зміну структури виробництва та споживання енергії, електрифікацію окремих секторів, модернізацію промисловості й енергетичної інфраструктури та підвищення ефективності використання ресурсів.

Моделювання сценаріїв розвитку глобальної енергетики також показує суттєвий потенціал скорочення викидів NO_x, SO_x, $Тч_{2.5}$ і $Тч_{10}$ за умов масштабного переходу до відновлюваної енергетики. Така трансформація має подвійний екологічний ефект, адже поряд зі скороченням викидів вона створює передумови для зменшення надходження в атмосферу традиційних забруднювальних речовин. Наукові дослідження підтверджують, що перехід до низьковуглецевої енергетики може позитивно впливати не тільки на кліматичні показники, але й на якість повітря та пов'язані з нею ризики для населення.

Важливою складовою енергетичного переходу також є підвищення енергоефективності. Зменшення енергоємності будівель і виробничих процесів, термомодернізація, впровадження сучасного енергоефективного обладнання, удосконалення систем теплопостачання, зниження втрат під час виробництва і транспортування енергії дають змогу скоротити обсяги первинних енергетичних ресурсів, необхідних для забезпечення тих самих потреб.

У контексті енергетичних трансформацій особливої актуальності набуває розвиток сучасної системи моніторингу атмосферного повітря. Його завдання полягає не лише у фіксації поточних концентрацій забруднювальних речовин і випадків перевищення нормативних значень, а й у накопиченні даних для комплексної оцінки стану повітря.

Систематичні спостереження дозволяють виявляти довгострокові тенденції, сезонну динаміку та просторові відмінності у рівнях забруднення. Таким чином, на основі даних з автоматизованих станцій, враховуючи інформацію щодо обсягів виробництва та споживання енергії, використання видів палива, а також рівня впровадження ВДЕ можна простежити зміни стану якості повітря та провести оцінку результативності модернізації енергетики і заходів з підвищення енергоефективності.

Джерела енергії та моделі споживання європейської промисловості, транспортних систем, будівель, районів, міст і містечок здебільшого є несталими, що призводить до значного впливу на екологію та зміну клімату.

Радикальне зниження питомих втрат тепла шляхом комплексної термомодернізації житлового й промислового секторів виступає базовим інструментом для забезпечення економічної доступності та раціонального споживання теплової енергії.

ДЯЧОК В.В.[1], ГУГЛИЧ С.І.[1], ВЕНГЕР Л.О.[1,2] (УКРАЇНА, ЛЬВІВ, ЗАПОРІЖЖЯ)

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ У ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

[1]Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вулиця Степана Бандери 12, Львів, Україна; dyachokvasil@gmail.com
[2]Запорізький національний університет; ljuvenger77@gmail.com

Abstract. The ability of microalgae to transport bicarbonates into their cells makes them highly efficient at carbon fixation; consequently, they have the potential to be used for carbon dioxide capture and sequestration. This report examines potential strategies for utilizing microalgae for carbon dioxide sequestration to mitigate negative environmental impacts.

Перетворення вуглекислого газу на корисні енергетичні ресурси залишається одним із найважливіших напрямків сучасної науки про чисту енергетику.

В той же час понад 80% світового обсягу енергії виробляється шляхом спалювання викопного палива, що призводить до викиду понад 24 гігатонн вуглекислого газу (CO_2).

Як наслідок, за останні 100 років концентрація CO_2 в атмосфері зросла з 295 до 380 частин на мільйон (ppm), що суттєво сприяло глобальному потеплінню, зміні клімату та інших негативних наслідків.

Найпотужнішим і найсталішим джерелом енергії для Землі є сонце. Близько 0,05% цієї енергії щороку акумулюється в біомасі завдяки процесу фотосинтезу. Утворення, розкладання та накопичення біомаси відіграють ключову роль у глобальному кругообігу вуглекислого газу.

Останнім часом спостерігається значний інтерес та інвестування в розробку технологій виробництва енергії з мікроводоростей. Мікроводорості – це прості організми, що містять хлорофіл, володіють потужною фотосинтетичною ефективністю, відповідно можуть синтезувати та накопичувати велику кількість вуглеводневої біомаси. Їх можна культивувати у прісній воді, морській воді та стічних водах. Таким чином, мікроводорості належать до найпродуктивніших біологічних систем для зв'язування вуглецю. Ефективність поглинання вуглекислого газу або бікарбонатів у відкритих водоймах становить в межах 90%. Масштаби виробничих потужностей, необхідних для вловлювання викидів вуглекислого газу із стаціонарних точкових джерел, таких як електростанції, печі для випалу цементу, котельні є досить достатніми.

Водночас біомасу мікроводоростей можна використовували як сировину для виробництва біодизелю, біоетанолу та біогазу. Виробництво цього біопалива є інтегровано у програму зменшення викидів парникових газів із яких вуглекислий газ є найбільш небезпечний, очищення стічних вод та виробництва високоякісних хімічних речовин.

Окремої уваги у цій програмі заслуговує біоводень. Біоводень з мікроводоростей також є відновлюваним джерелом енергії. Біоводень можна одержувати за рахунок прямого і непрямого фотолізу. Мікроводорості можуть здійснювати, як прямий фотоліз використовуючи світло, оскільки вони мають хлорофіл і фотосинтетичні системи, так і непрямий фотоліз. За непрямого фотолізу спочатку відбувається розщеплення молекул води під дією сонячного світла та протонів, в результаті чого утворюється кисень. Потім відбувається фіксація вуглекислого газу, накопичення вуглеводів з подальшим виробництвом газоподібного біоводню гідрогеназою.

Для ферментативного виробництва біоводню з мікроводоростей, попередньо необхідна обробка їх біомаси певними методами, включаючи фізичні, хімічні, біологічні та комбінованими методами. Проте не до кінця вирішеним для виробництва біоводню з мікроводоростей залишається економічна складова.

ОЛІНЕЧЕНКО Ю.О. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ВНЕСОК У ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЗАКЛАДІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Національний університет "Київський авіаційний інститут»,
1,проспект Гузара Любомира, Київ, 03058,Україна; 7232384@stud.kai.edu.ua

Abstract. When modernizing the energy supply of a separate medical center based on solar energy in the city of Kyiv, calculations were made to reduce the environmental impact and assess the contribution to achieving sustainable development goals. The work was carried out in accordance with the methodological approaches of the international environmental standards ISO 14040:2006 and 14044:2006. For the first time, an integrated methodology for a comprehensive environmental assessment of the energy system has been developed and implemented for a medical institution in Ukraine, which combines life cycle assessment (LCA), health impact assessment (DALY), water footprint and biodiversity impact, which allows obtaining an objective picture of the environmental efficiency of energy solutions. The most obvious main results of energy modernization were progress in achieving sustainable development goals 3, 7, 9, 11, 12, 13.The environmental benefits of using renewable energy sources include decarbonization, reduced air, water and land pollution, reduced thermal pollution, and reduced water footprint, which preserves the health of current and future generations.

Функціонування закладів охорони здоров'я у відповідності до професійних стандартів вимагає значного використання ресурсів, насамперед, енергетичних. Стабільне постачання енергії є необхідною умовою надання якісної медичної допомоги. В той же час, згідно з рекомендаціями ВООЗ, медичні заклади мають бути не тільки ефективними, але й стійкими, інноваційними та відповідати принципам соціальної відповідальності і таким чином сприяти досягненню цілей сталого розвитку (ЦСР). Ці проблеми вирішуються значною мірою у всьому світі при впровадженні відновлюваних джерел енергії, насамперед, сонячної енергетики. Дослідження показують, що заклади, які використовують сонячні фотоелектричні системи з накопиченням енергії, досягають більшої енергетичної стабільності та операційної ефективності.

У нашій роботі, присвяченій модернізації енергозабезпечення окремого медичного центру на основі сонячної енергетики у місті Києві, проведені розрахунки зменшення впливу на довкілля і оцінено внесок у досягнення цілей сталого розвитку. Робота виконувалася відповідно до методичних підходів міжнародних екологічних стандартів ISO 14040:2006 та 14044:2006. Вперше для медичного закладу в Україні розроблено та впроваджено інтегровану методологію комплексної екологічної оцінки енергосистеми, яка поєднує життєвий цикл (LCA), оцінку впливу на здоров'я (DALY), водного сліду та впливу на біологічне різноманіття, що дозволяє отримати об'єктивну картину екологічної ефективності енергетичних рішень. Найбільш очевидними основними результатами енергетичної модернізації виявилися поступи у досягненні цілей сталого розвитку 3, 7, 9, 11, 12, 13. Це є наслідком скорочення споживання електроенергії з центральних мереж на 54,4%, зменшення викидів забруднюючих речовин у CO_2-екв. на 45,8%, річних викидів CO_2 на 15,28 т, водного сліду на 67,9%, зниження негативного впливу на здоров'я за розрахунками на 82,2%. Екологічні переваги використання відновлюваних джерел енергії включають декарбонізацію, зменшення забруднення повітря, води і земель, зменшення теплового забруднення, водного сліду, що зберігає здоров'я нинішнього і майбутніх поколінь. Внесок впровадження сонячної енергетики у досягнення ЦСР відповідає міжнародним трендам декарбонізації медичної галузі, Паризькій угоді щодо зміни клімату, Європейському зеленому курсу та національним зобов'язанням України, що є актуальним в контексті глобальних викликів сучасності.

ГРИЦЮК Ю.Я., СНІЖКО С.І., СКРИНИК О.Я. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ОЦІНЮВАННЯ ВІТРОВИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ WRF ТА CALMET

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Український гідрометеорологічний інститут
03022, просп. Академіка Глушкова, 2А, Київ, Україна
hrytsiuk.yu@gmail.com, snizhkosi@gmail.com, oleg.y.skrynyk@gmail.com

Abstract. In this research, using the Ternopil region as a case study, we evaluated the applicability of the prognostic and diagnostic meteorological models WRF and CALMET, respectively, for high-resolution assessment of wind resources. The calculations were performed for the entire year of 2020. Several numerical experiments were conducted to identify the optimal model configurations for simulating wind speed at a spatial resolution of 1 km. The model results were evaluated through statistical comparison with meteorological observations performed in 2020 in the domain.

Вітрова енергія розглядається сьогодні як одне із основних джерел відновлюваної енергії, які сприяють декарбонізації економіки та вносять суттєвий вклад у вирішення проблем пов'язаних із змінами клімату та підтриманням сталого розвитку суспільства. Варто зазначити, що для України виробництво вітрової електроенергії є надзвичайно важливим також у контексті агресивної війни росії проти нашої держави. Як відомо із відкритих джерел, об'єкти традиційних видів генерації зазнали суттєвих пошкоджень. Тому розвиток розподіленої вітрової генерації може мати суттєвий позитивний вплив на стійкість енергетичної системи України під час воєнних дій та сприяти її енергетичній безпеці. Важливою передумовою створення ефективної розподіленої вітрової генерації є проведення просторово детального і максимально точного оцінювання вітрових ресурсів України.

Одним із ефективних методів оцінювання вітрових ресурсів є використання сучасних спеціалізованих комп'ютерних моделей, які здатні симулювати вітрові потоки у нижній частині атмосфери з високою точністю та просторово-часовою роздільністю. У представленому дослідженні проведено оцінювання застосовності метеорологічних моделей Weather Research and Forecasting (WRF) та California Meteorology (CALMET) для оцінювання вітрового потенціалу вибраного просторового домену. WRF (Skamarok et al., 2019) є прогностичною мезомасштабною метеорологічною моделлю, яка здійснює розрахунки метеорологічних полів на основі повної системи диференціальних рівнянь, що описують динаміку атмосфери у просторово обмеженому домені. Початкові та граничні умови отримуються із глобальних даних, діагностичних (напр., ERA5 – European Reanalysis version 5) чи прогностичних (напр., GFS – Global Forecast System data). CALMET – це діагностична метеорологічна модель, яка здійснює статистичний даунскейлінг вхідних даних (метеорологічних спостережень чи даних прогностичних моделей), проте враховує певні фізичні ефекти, які виникають при взаємодії вітрових потоків із підстильною поверхнею та рельєфом.

Для оцінювання застосовності WRF та CALMET було проведено ряд чисельних експериментів з різною конфігурацією моделей. Розрахунки у кожному експерименті проведено для всього 2020 року. Для WRF було використано систему трьох вкладених розрахункових сіток з метою отримання просторової роздільності 1 км у внутрішньому домені, що містив територію Тернопільської області та прилеглі території. Для визначення початкових та граничних умов для розрахунків WRF було використано дані ERA5. Чисельні експерименти проведено з використанням різних фізичних параметризацій прогностичної моделі, які мають суттєвий вплив на результати розрахунків метеорологічних полів. Окремий експеримент було проведено з використанням комбінації WRF-CALMET. У цьому експерименті, розрахунки у внутрішньому домені проведено за допомогою діагностичної моделі з метою зменшення розрахункового часу. Верифікація результатів розрахунків на основі метеорологічних вимірювань компонент вітру на висоті 10 м над земною поверхнею показала відносно високу точність розрахунків. Результати дослідження обґрунтовують застосовність WRF та комбінації WRF-CALMET для оцінювання вітрових ресурсів просторових доменів з високою просторовою роздільністю.

Список літератури:

1. Scire, J. et al. (2000). User's Guide for the CALMET Meteorological Model. Earth Tech, Inc., Concord, MA, USA
2. Skamarock, et al. (2019). A description of the Advanced Research WRF Model Version 4. NCAR Technical Note, NCAR/TN-556+STR, Boulder, CO, USA. https://doi.org/10.5065/1dfh-6p97

Семінар 2 **Seminar 2**

ШЕВЧИК-КОСТЮК Л.З., РОМАНЮК О.І., РОМАНЮК Г.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО, ВИРОЩЕНОГО НА НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України
79060, вул. Наукова, 3а, Львів, Україна; lesyashevchik@gmail.com

Abstract. Fuel characteristics of sorghum biomass grown on oil-contaminated (5 % oil) and uncontaminated soils were investigated. The moisture and ash content of the biomass decreased by 18,3 % and 9,7 % respectively under contamination conditions, while the heat of combustion increased in 16 %. The heavy metal content in the samples showed no statistically significant difference. This confirms the suitability of sorghum biomass from oil-contaminated soils as a viable feedstock for solid biofuel production.

Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому споживанні енергії у 2030 році повинна становити 27%. В досягненні цілей Національного плану важливе місце займає біоенергетика: виробництво теплової енергії, виробництво електричної енергії та використання біопалив у транспортному секторі. Найперспективнішим джерелом сировини для біоенергетики є енергетичні культури – рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо як палива або для виробництва біопалива. Україна має значний потенціал вирощування енергетичних культур, який обумовлений ґрунтово-кліматичними умовами та наявністю більше 4 млн. га малопродуктивних, техногенно-порушених земель. Розвиток територіальних громад на основі використання місцевих біоенергетичних ресурсів – головний чинник забезпечення стабільної енергетичної незалежності.

Сорго звичайне (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – багатоцільова культура, поширена в багатьох країнах світу, яка має високу адаптивність і стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища. Протягом вегетаційного періоду сорго формує значну кількість біомаси, придатної для виробництва різних видів біопалив: біоетанол, біогаз, тверде біопаливо. Це зумовило неабиякий інтерес щодо можливості вирощування сорго на маргінальних та забруднених ґрунтах. Нафтове забруднення є одним із найбільш поширених видів антропогенного забруднення ґрунтів: промислова, гірничо-видобувна, військова діяльності неминуче призводять до забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Вирощування енергетичних рослин на таких ґрунтах є перспективним напрямом поєднання відновлення ґрунтів та виробництва біомаси для енергетичних потреб.

Мета роботи – визначити паливні характеристики та обґрунтувати придатність біомаси сорго, вирощеного на нафтозабрудненому ґрунті, для виробництва твердого біопалива.

Досліджувалась надземна біомаса сорго, вирощеного на нафтозабрудненому (5 % нафти у ґрунті) і незабрудненому ґрунтах. Рослинну біомасу для досліджень зібрано наприкінці вегетаційного періоду, на 90 добу росту, з фіторемедіаційних ділянок.

Визначено основні паливні характеристики біомаси сорго. Встановлено, що вологість біомаси сорго, яке зростало на чистому ґрунті становила 35,62 %, в той час як вологість сорго, яке зростало на нафтозабрудненому ґрунті – 29,11 %. Дослідження зольності біомаси сорго показали аналогічну закономірність – в умовах нафтового забруднення зольність сорго була нижчою на 9,7 %, в порівнянні з контролем. Показник теплотворної здатності різних енергетичних рослин сильно коливається, однак чим вища теплотворна здатність палива, тим воно цінніше. Встановлено, що біомаса сорго, вирощеного на нафтозабрудненому ґрунті, має вищу теплоту згоряння, ніж у сорго, вирощеного на незабрудненому ґрунті на 16 %.

Методом рентгенофлуоресцентного аналізу досліджено елементний склад біомаси сорго. За вмістом важких металів не виявлено статистично значущих відмінностей між зразками з незабруднених і нафтозабруднених ділянок.

Отримані дані свідчать про те, що біомаса сорго, вирощеного на нафтозабрудненому ґрунті характеризується високими паливними показниками і може бути використана як сировина для виробництва твердого біопалива (пелет, брикетів).

Деградовані порушені землі можуть бути альтернативним місцем для створення енергетичних плантацій. Вирощування сорго на малопродуктивних, деградованих або забруднених землях – перспективний напрямок, що дозволить використовувати незадіяні землі та отримувати біомасу для енергетичних потреб.

КУШНІРУК П.А., ФЕДОНЮК М.А., ФЕДОНЮК В.В. (УКРАЇНА, ЛУЦЬК)

ПРИКЛАД ОЦІНКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ У МІСЦЯХ ВСТАНОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Луцький національний технічний університет
43018, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна;
Kushniruk.p1806.E2.25@lntu.edu.ua

Abstract. This paper presents the results of a comparative thermographic survey of two types of photovoltaic systems: a residential rooftop system with a capacity of approximately 5 kW and an industrial solar power plant with a capacity of 240 kW. The study was conducted in the Volyn region during August 2026 to assess the impact of environmental conditions on the temperature regime and the environmental and economic efficiency of photovoltaic panels. Significant variability in heating parameters was observed depending on environmental conditions and the installation characteristics of the photovoltaic panels.

Ефективність фотовольтаїчних (ФВ) систем суттєво залежить від температурного режиму панелей. Відомо, що підвищення робочої температури понад номінальні 25°C знижує коефіцієнт корисної дії кремнієвих модулів приблизно на 0,4–0,5% на кожен градус перегріву. Крім погіршення власне техніко-експлуатаційних характеристик, надмірне нагрівання панелей теоретично може нівелювати ті переваги, які стосуються пом’якшення міського острова тепла. Тому дослідження температурного режиму є актуальним для оцінки реальної ефективності ФВ-систем за різних умов середовища.

Метою роботи є порівняльна оцінка теплового режиму фотовольтаїчних панелей побутового та промислового масштабу за різних умов навколишнього середовища для подальшого еколого-економічного аналізу ефективності генерації.

Ряд подібних досліджень нами проведено у серпні 2026 р, методом тепловізійної діагностики за допомогою портативного тепловізора (модель ET692C з тепловим розрізненням 256*192 пікселі). Об’єктами стали панелі побутової дахової ФВ-станції потужністю 5кВт та промислової СЕС сумарною потужністю 240 кВт (два ідентичних поля по 120 кВт) у Луцькому районі Волинської області. Для кожного знімка фіксувалися температура панелі, температура «гарячої точки» (ділянка максимального нагріву), мінімальна/максимальна температура кадру, температура навколишнього повітря та, за наявності, показники потужності генерації.

Аналіз термограм побутової станції виявив значну варіативність температури «гарячих точок» – від 24,6°C (18.08.26, за температури повітря 18°C) до 68,3°C (05.08.26, за температури повітря 38°C), що наочно демонструє зв'язок між температурою довкілля та ступенем нагріву панелей. Середня температура панелі коливалась від 15,8°C до 40,8°C, залежно від доби спостереження. Слід зауважити, що панелі побутової станції розміщені на різних схилах даху, тому не завжди перебувають на сонячній стороні, що є додатковим фактором варіативності генерації. Генерація електроенергії, зафіксована у дні з не повністю зарядженим акумулятором, становила від 428 Вт (06.08) до 2543 Вт (05.08), що узгоджується з відмінностями у сонячному навантаженні, орієнтації панелей та температурному режимі.

На промисловій СЕС температура «гарячих точок» становила 44,5–51,9°C, а різниця температур «панель – повітря» – 7,5–14,9°C, що суттєво менше, ніж на даховій станції (різниця сягала 30°C і більше за аналогічних умов освітлення). Погодинна генерація промислового об'єкта у час спостережень складала від 35,2 до 59 кВт (за сумарної встановленої потужності 240 кВт).

Виявлена відмінність теплового режиму пояснюється конструктивними особливостями монтажу: панелі промислової СЕС встановлені на піднятих металевих стійках з вільною циркуляцією повітря знизу, тоді як дахова станція має обмежену вентиляцію через щільне прилягання до покрівлі, що спричиняє додатковий перегрів і, відповідно, потенційне зниження ККД у літній період. Завдяки піднятому монтажу та вільній циркуляції повітря на промисловому об'єкті також зменшується площа й інтенсивність «температурної плями» – покрівля або ґрунт під панелями нагріваються значно менше, ніж дах під щільно змонтованою побутовою станцією.

Отримані результати є важливими для еколого-економічної оцінки ефективності генерації та обґрунтування рекомендацій щодо оптимізації монтажу ФВ-систем у регіоні. Подальші дослідження передбачають розширення часових рамок та кількості об’єктів спостережень, порівняння різних типів панелей, кількісний розрахунок втрат генерації, зумовлених перегрівом тощо.

УЛАНОВ М.М. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ПЕРЕВАГИ ВИРОБНИЦТВА НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО АМІАКУ – НОСІЯ ВОДНЮ БІЛЯ ІСНУЮЧИХ БЛОКІВ АЕС В УКРАЇНІ

Інститут технічної теплофізики НАН
03057, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, Україна; e3therm@gmail.com

Abstract. The article explores the latest technologies for producing low-carbon ammonia using electricity from nuclear power plants. It also compares the levelized cost of ammonia (LCOA), and capacity utilization factors across different ammonia types.

Аміак (NH_3) є одночасно базовим продуктом хімічної промисловості (мінеральні добрива) та перспективним хімічним носієм водню і безвуглецевим паливом. Традиційне виробництво аміаку за схемою «паровий риформінг метану (SMR) → Габер – Бош» характеризується високою вуглецевою інтенсивністю: близько 1,8–2,0 т $CO_{2\text{-екв.}}$ на тонну NH_3 у більшості оцінок життєвого циклу.

Атомна енергетика забезпечує базове навантаження з майже нульовою вуглецевою інтенсивністю та високим коефіцієнтом використання потужності (85–95%), що принципово відрізняє її від змінних відновлюваних джерел. Це робить атомну генерацію технологічно природним партнером для безперервних хімічних виробництв, до яких належить синтез аміаку. Такий аміак має назву низьковуглецевим. Чинники, що впливають на вартість виробництва низьковуглецевого аміаку (табл.1):

- Ціна електроенергії та коефіцієнт використання потужності. Атомна генерація забезпечує базове навантаження з високим КВП, що краще узгоджується з безперервними установками аміаку, ніж змінні ВДЕ без систем накопичення. Дослідження зазвичай приймають вартість електричної енергії в межах 40 – 70 USD/МВт·год; за ціни ~30 USD/МВт·год рівень вартості складає 300 USD/т NH_3 стає досяжним для належно масштабованих установок.
- Капітальні витрати та ефективність електролізерів. Питома вартість, ресурс та ефективність перетворення «електроенергія → водень» визначально впливають на вартість водню й, відповідно, аміаку.
- Масштаб та інтеграція. Спільне розміщення атомного та аміачного виробництв знижує витрати на передачу та дозволяє використовувати скидну теплоту для технологічної пари.

Таблиця 1

Оцінки LCOA аміаку та коефіцієнта використання потужності.

Технологія	LCOA, USD/кг NH_3	КВП, %	Примітка
Низьковуглецевий	0,55 – 0,75	85 – 95	Електроенергія отримана безпосередньо з АЕС
«Зелений» з ВЕС	0,60 – 0,95	35 – 50	Береговий вітер + накопичення/резервування
«Зелений» з СЕС	0,65 – 1,05	20 – 30	Промислова СЕС + накопичення/резервування
«Блакитний» (природний газ + CCS)	0,35 – 0,60	85 – 95	SMR/ATR, високий рівень уловлювання
«Сірий» (природний газ)	0,55 – 0,80	85 – 95	Паровий риформінг та Габер–Бош

Виробництво низьковуглецевого аміаку на основі атомної електроенергії технічно реалізоване та за вуглецевою інтенсивністю життєвого циклу належить до найнижчих: від ~0,01 до 0,5 т $CO_{2\text{-екв.}}$/т NH_3 проти ~1,8 – 2,4 для «сірого» аміаку; найкращі оцінки для високотемпературного електролізу становлять близько 0,46 кг $CO_{2\text{-екв.}}$/кг NH_3. Ключовою конкурентною перевагою є не вартість електроенергії як така, а високий коефіцієнт використання потужності (85 – 95%), який знижує питому капітальну складову електролізу порівняно з перервними ВДЕ. Оцінки LCOA становлять приблизно 0,55 – 0,75 USD/кг NH_3 (≈430 USD/т за окремими сценаріями) проти 0,35 – 0,60 USD/кг для «блакитного» та 0,55 – 0,80 USD/кг для «сірого» аміаку.

Для національного інженерного застосування пріоритетними напрямами є технологічна інтеграція з наявними блоками АЕС, керування навантаженням за умови збереження високого завантаження хімічної установки, а також завчасне опрацювання питань ліцензування спільного розміщення атомного та хімічного виробництва.

МОНЧУК М.І.[1], КШИВЕЦЬКИЙ Б.Я.[1], КІНДЗЕРА Д.П.[2] (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ В УПРАВЛІННІ ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ: ВИРОБНИЦТВО КОМПОЗИЦІЙНОГО ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ ТА ОСАДІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

[1]Національний лісотехнічний університет України 79057, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів, Україна; 183.24monchuk.m@nltu.lviv.ua
[2]Національний університет «Львівська політехніка» 79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; diana.p.kindzera@lpnu.ua

Abstract. The problem of the accumulation of coal slurries from coal beneficiation plants and organic sludge from wastewater treatment facilities at woodworking, pulp and paper, oil extraction, and food industry enterprises is considered. The potential of the combined use of the coal fraction recovered from slurries and organic sludge as secondary energy feedstocks for the production of composite solid fuel is substantiated.

Вуглезбагачувальні фабрики є важливою складовою паливно-енергетичного комплексу України, забезпечуючи доведення якісних показників видобутого вугілля, зокрема зольності, вологості, вмісту сірки, до вимог споживачів. Незважаючи на скорочення виробничих потужностей і трансформацію вугільної галузі України, збагачувальні підприємства продовжують функціонувати. У процесі мокрого збагачення вугільної сировини утворюються значні об'єми технологічних суспензій (шламових вод), що містять тонкодисперсні частинки вугілля, мінеральної породи тощо.

Очищення шламових вод для забезпечення замкненого водообігу збагачувальних фабрик є складним багатоступеневим процесом. Недостатня ефективність вилучення тонкодисперсної складової спричиняє її надходження до шламонакопичувачів, що протягом тривалого часу зумовило накопичення десятків мільйонів тонн вугільних шламів. Накопичені вугільні шлами є джерелом тривалого екологічного навантаження, проте значний вміст горючої складової (30–60 %) визначає перспективність їх залучення до перероблення як вторинної енергетичної сировини. Застосування сучасних технологій гравітаційного збагачення, селективної флокуляції, масляної агломерації та інших методів дає змогу здійснювати додаткове вилучення вугільної складової зі шламів і отримувати концентрат з показниками теплотворної здатності від 20 до 25 МДж/кг.

Водночас актуальним залишається питання ефективної утилізації та рециклінгу значних обсягів осадів органічного походження, що утворюються на локальних очисних спорудах промислових підприємств деревообробної, целюлозно-паперової, олійноекстракційної та харчової галузей. Такі осади характеризуються складним і змінним компонентним складом та, залежно від виду виробництва і технології очищення стічних вод, можуть містити значну кількість органічних речовин – ліпідів, целюлози, геміцелюлози, лігніну та білкових сполук. Наявність цих компонентів зумовлює їх енергетичний потенціал: теплота згоряння сухої маси осадів може становити 12–28 МДж/кг.

Світовий досвід високорозвинених країн у сфері управління відходами свідчить про доцільність переходу до моделей циркулярної економіки, орієнтованих на повторне використання їхнього ресурсного та енергетичного потенціалу. У цьому контексті спільне використання органічних осадів та вугільних концентратів, вилучених зі шламів, є перспективним напрямом виробництва композиційного твердого палива. Технологічний процес передбачає попереднє зневоднення компонентів, їх дозування та змішування у заданому співвідношенні з подальшим формуванням паливних брикетів або пелет під тиском. Поєднання компонентів забезпечує взаємодоповнення їхніх функціональних властивостей: органічна складова завдяки зв'язувальним і пластифікувальним властивостям сприяє ущільненню суміші та формуванню її структурної цілісності без додаткового використання синтетичних зв'язувальних речовин, тоді як дрібнодисперсна вугільна складова підвищує теплотворну здатність і сприяє формуванню необхідних структурно-механічних властивостей готового палива. Варіювання співвідношення компонентів дає змогу регулювати основні фізико-механічні та енергетичні характеристики отриманого палива. За раціонального складу суміші можуть бути одержані кондиційні паливні брикети або пелети з теплотою згоряння 15–23 МДж/кг. Проте головними перешкодами впровадження цієї технології залишаються висока вологість сировинних компонентів, що зумовлює необхідність впровадження енергоефективних схем їхнього зневоднення й сушіння.

ВАСИЛІНИЧ Т.М., МАРІЇН Д.В., КРИКЛИВИЙ Р.Д. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ОЦІНКА МЕТАНОГЕННОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЖОМОВОКИСЛИХ СТІЧНИХ ВОД

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
21001, вул. Острозького 32, м. Вінниця, Україна t.vasylinych@gmail.com
Вінницький національний технічний університет
21000, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна

Abstract. The physicochemical prerequisites for the methanogenic potential of sugar beet pulp acidification wastewater as a potential co-substrate for anaerobic digestion were investigated. The main physicochemical characteristics of the wastewater and changes in its organic load during long-term storage were determined. A strong relationship between permanganate index and COD was established, while low pH was identified as the main factor limiting methanogenesis. The need for pH adjustment prior to the use of the wastewater in anaerobic bioconversion was substantiated.

Зростання обсягів органічних відходів харчової промисловості та необхідність розвитку відновлюваної енергетики зумовлюють пошук ефективних способів їх біоконверсії. Одним із перспективних напрямів є анаеробне зброджування органічних відходів і стічних вод із виробництвом біогазу. Особливий інтерес становлять рідкі органічні субстрати, які не мають альтернативного економічно доцільного використання. До них належать жомовокислі стічні води цукрового виробництва, що містять розчинені вуглеводи, пектинові речовини, амінокислоти та тонкодисперсну органічну складову.

Ефективність метаногенезу визначається складом субстрату, концентрацією органічної речовини, кислотністю, мінералізацією, буферною ємністю та наявністю потенційних інгібіторів [1]. Тому попередня фізико-хімічна оцінка стоків є необхідною для визначення їх придатності до анаеробної біоконверсії та вибору способу підготовки.

Метою роботи було оцінити метаногенний потенціал жомовокислих стічних вод цукрового виробництва та обґрунтувати умови їх підготовки до анаеробного зброджування [2].

Об’єктом дослідження були жомовокислі стічні води, що утворюються під час транспортування та зберігання жому і містять органічні компоненти, характерні для стоків цукрового виробництва. Дослідження проводили в умовах тривалого зберігання за низьких температур.

Для оцінювання органічного навантаження визначали перманганатну окиснюваність (PI) та хімічне споживання кисню (COD) біхроматним методом. Концентрацію розчиненого органічного Карбону (DOC) оцінювали за співвідношенням COD/DOC ≈ 3. Додатково визначали УФ-спектрофотометричні індекси E2/E3, UV254/280 та SUVA, а також pH, електропровідність (EC), загальний вміст розчинених речовин (TDS), солевміст (Salt) і твердість води (WH).

Для свіжих жомовокислих стічних вод встановлено PI = 445,45 мг O_2/дм³, COD = 1759,17 мг O_2/дм³ та DOC = 563,78 мг C/дм³. Отримані значення свідчать про наявність значної кількості органічної речовини, потенційно доступної для біоконверсії. Водночас за рівнем органічного навантаження жомовокислі стоки поступаються таким концентрованим субстратам, як буряковий жом або меляса, що дає підстави розглядати їх передусім як додатковий субстрат (співсубстрат) для анаеробного зброджування.

УФ-спектрофотометричні характеристики підтверджують специфіку органічної складової стоків: E2/E3 = 5,00, UV254/280 = 1,16, SUVA = 0,45 л·м$^{-1}$·мг$^{-1}$. Високе значення E2/E3 та низьке SUVA вказують на переважання низькомолекулярної, малоароматичної органічної речовини, яка потенційно легше піддається біодеградації.

Важливим чинником є зміна складу стоків під час зберігання. Протягом перших 12 тижнів значення PI та COD змінювалися незначно, а на початкових етапах спостерігалося їх тимчасове підвищення, що може бути пов’язано з перебігом кислотогенних процесів і переходом частини органічної речовини у розчинену форму. Починаючи з 13-го тижня, відзначено прискорене зниження показників. На 15-му тижні COD зменшився приблизно на 30%, а PI — на 34% порівняно з початковими значеннями. Це свідчить про активізацію природної біодеградації органічних речовин за тривалого зберігання та, відповідно, поступове зменшення потенціалу стоків як субстрату для біоконверсії.

Для досліджуваних стоків встановлено тісний лінійний зв'язок між PI та COD (рис. 1): коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0{,}9178$ [3].

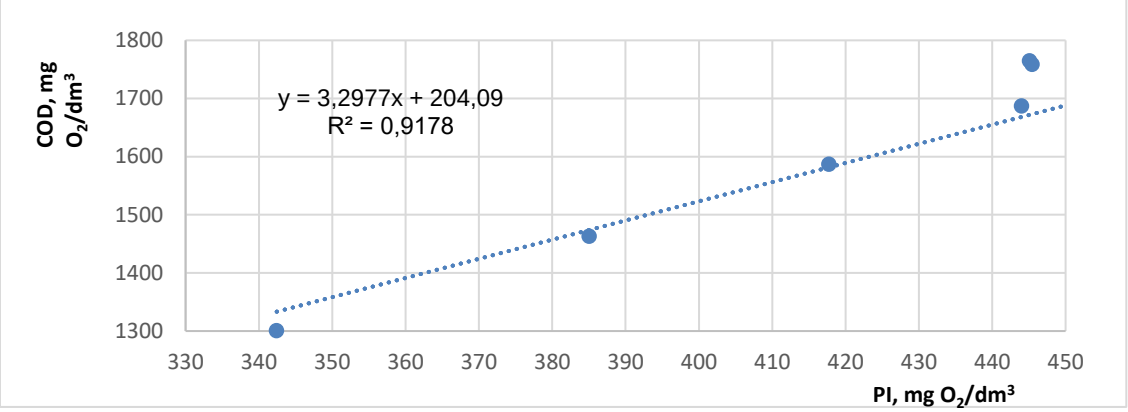


Рис.1. Залежність між значеннями PI та COD для досліджуваних стоків

Така залежність свідчить про можливість використання перманганатної окиснюваності як експрес-показника для оперативного контролю змін органічного навантаження та попереднього оцінювання COD.

Окрему увагу приділено фізико-хімічним параметрам, які визначають стабільність метаногенезу. У перший тиждень зберігання pH становив 2,41, на другий тиждень підвищився до 4,50. Одночасно TDS збільшився з 1,08 до 1,26 г/дм³, Salt — з 0,49 до 0,56 г/дм³, WH — з 6,95 до 7,21 мЕкв/дм³, а EC — з 1,58 до 1,90 мСм/см. Незважаючи на підвищення pH, його значення залишалося нижчим за діапазон, сприятливий для активності метаногенних мікроорганізмів. Низький солевміст при цьому не свідчить про надмірне сольове навантаження.

Отже, низьке значення pH є основним фізико-хімічним чинником, що обмежує безпосереднє використання жомовокислих стоків у метановій ферментації. За таких умов доцільним є попереднє коригування кислотності. Практично можливими є два підходи: нейтралізація із застосуванням лужного компонента або ко-ферментація з органічним співсубстратом, здатним підвищувати буферну ємність суміші.

На основі отриманих результатів запропоновано технологічний підхід до підготовки стоків, який включає грубе фільтрування, усереднення та відстоювання з видаленням механічних і мінеральних домішок, після чого здійснюється коригування pH шляхом нейтралізації або змішування з відповідним співсубстратом. Перед подаванням до метантенка доцільно забезпечити pH суміші в межах 6,8–7,5. З огляду на відносно невисоке органічне навантаження жомовокислих стоків їх доцільно використовувати саме як співсубстрат у складі збалансованої субстратної суміші.

Жомовокислі стічні води містять значну кількість переважно низькомолекулярної та малоароматичної органічної речовини, потенційно доступної для біодеградації, що підтверджується значеннями PI, COD, DOC та УФ-спектрофотометричних індексів. Тривале зберігання супроводжується природною біодеградацією органічної речовини: на 15-му тижні COD зменшується приблизно на 30%, а PI — на 34%. Встановлений тісний зв'язок між PI та COD ($R^2 = 0{,}9178$) обґрунтовує можливість застосування PI для експрес-моніторингу органічного навантаження. Основним обмежувальним фактором метаногенезу є висока кислотність стоків, тому перед анаеробним зброджуванням необхідне коригування pH. Перспективним напрямом є використання жомовокислих стічних вод як співсубстрату після попереднього очищення, вирівнювання складу та коригування кислотності.

Список літератури:

1. Alkaya E. Göksel N. D. (2011) Anaerobic acidification of sugar-beet processing wastes: Effect of operational parameters. *Biomass and Bioenergy*, 35(1): 32-39. Available at: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.002
2. Antosz A. (2024) Research on the methanogenic fermentation process of lignocellulosic substrates. *Nafta-Gaz*, (9): 581–591, Available at: https://doi.org/10.18668/ NG.2024.09.06
3. Mariin D. V., Sakalova H. V. (2026) Assessment of the methanogenic potential of food industry waste. *Zbirnyk naukovykh prats' NUK*, 2: 240-245. (in Ukrainian). Available at: https://doi.org/10.15589/znp2026.1(503).2.28
4. Zeng Y. G., Li L., Zhao H. (2014) The Correlation Analysis of COD and Permanganate Index in Jiuzhaigou Water. Environment Advanced Materials Research, 933: 994−998. Available at: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.933.994

ЯКИМЕЧКО М.М., КУЧЕРА Я.Й. (УКРАЇНА, КАЛУШ)

ПЕРСПЕКТИВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА КОНЦЕНТРУВАННЯ CO_2 ДИМОВИХ ГАЗІВ ВАПНЯКОВИХ ПЕЧЕЙ

Державна установа Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії
Україна, 61002, м. Харків, вул. Мироносицька, 25 mykolayakymechko@hotmail.com

Abstract. The conversion of limestone kilns in the Solvay soda-ash process from solid fuels to natural gas is one of the possible directions for modernization of the thermal system. The change of fuel can reduce the fuel-related component of CO_2 emissions and eliminate substantial ash and slag formation, but it also changes the composition of the kiln gas. Methane combustion with air increases the water-vapor fraction, while CO_2 becomes diluted in a larger gas stream. Depending on kiln design and operating conditions, the CO_2 concentration may decrease to approximately 20–25 vol.%. Further use of the gas in the carbonation stage therefore requires CO_2 concentration and purification. Chemical absorption, oxy-fuel combustion, membrane separation, and Pressure Swing Adsorption (PSA) are considered. Zeolite 13X is identified as a promising adsorbent because of its high affinity for CO_2 arising from interactions between the molecular quadrupole and extra-framework cations. At the same time, competitive water adsorption, particulate contamination, and gas-compression requirements are identified as key limitations for application to limestone-kiln gas. A process scheme consisting of cooling, particulate removal, drying, compression, and PSA is proposed, with subsequent recycling of the concentrated CO_2 to the carbonation section.

Виробництво кальцинованої соди (Na_2CO_3) за класичним аміачним методом Сольве є енергоємним хіміко-технологічним процесом, у якому вуглекислий газ виконує функцію безпосереднього технологічного реагенту. На стадії карбонізації амонізованого розсолу CO_2 забезпечує утворення гідрокарбонату натрію, який після фільтрування та кальцинації перетворюється на кальциновану соду. Одним із основних джерел технологічного CO_2 є вапнякова піч, у якій здійснюється термічний розклад карбонату кальцію. [1]

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \qquad (1)$$

За використання коксу додатковий CO_2 утворюється внаслідок окиснення (горіння) вуглецю:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \qquad (2)$$

При використання природного газу додатковий CO_2 утворюється внаслідок окиснення метану:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad (3)$$

Отже, газ після печі містить технологічний CO_2, CO_2 від спалювання палива, азот повітря, водяну пару та незначні кількості інших компонентів. На відміну від технологічного CO_2, який утворюється при декарбонізації вапняку незалежно від виду палива, паливна складова змінюється залежно від способу теплопостачання. Використання природного газу замість коксу або вугілля має низку технологічних переваг: відсутність твердого зольного залишку, спрощення автоматизації процесу горіння, можливість точнішого регулювання теплового режиму та потенційне зниження питомих паливних викидів CO_2.

Для газової печі істотною є також роль азоту повітря та водяної пари. Під час спалювання метану утворюється H_2O, а використання повітря як окисника вводить до печі значну кількість N_2. У результаті CO_2 розбавляється інертними щодо основної реакції компонентами. За певних промислових режимів концентрація CO_2 може перебувати на рівні 20–25 % об., тоді як для окремих схем із твердим вуглецевим паливом вона може бути істотно вищою.

Зниження концентрації CO_2 не тільки збільшує необхідний об’єм газу для подачі тієї самої кількості вуглекислого газу до карбонізаційної системи та може підвищувати навантаження на газодувне й компресорне обладнання а також через зниження концентрації CO_2 в газовій фазі зменшує рушійну силу в карбонізаційній колоні що призводить до падіння ступеня абсорбції CO_2 амонізованим розсолом та зниження ефективності роботи колон. Тому при модернізації печей доцільно розглядати не тільки заміну палива, а й систему концентрування CO_2 з подальшим його технологічним використанням.

Для вилучення CO_2 з газових сумішей застосовують абсорбційні, адсорбційні, мембранні та кріогенні процеси. Хімічна абсорбція аміновими розчинами забезпечує високу селективність, однак

регенерація насиченого абсорбенту потребує значного підведення теплоти. Киснево-паливне спалювання дає змогу істотно підвищити концентрацію CO_2 у газі за рахунок вилучення азоту з окиснювального середовища, проте потребує виробництва кисню та реконструкції системи горіння. Мембранні процеси характеризуються компактністю, але їхня ефективність залежить від парціального тиску CO_2, селективності та проникності мембранного матеріалу [2].

Короткоциклова адсорбція (Pressure Swing Adsorption, PSA) ґрунтується на різниці адсорбційної здатності компонентів газової суміші під час зміни тиску. Типовий цикл включає підвищення тиску, адсорбцію, декомпресію та регенерацію адсорбенту. Для вилучення CO_2 цеоліт 13X розглядається як один із базових промислових адсорбентів. Його селективність пов'язана з взаємодією молекул CO_2, що мають квадрупольний момент, з катіонними центрами у мікропоровій структурі цеоліту [3].

Перевагою адсорбційного підходу є можливість регенерації без обов'язкового використання значних потоків пари. Проте твердження про «низьке енергоспоживання» має розглядатися комплексно: значна частина енерговитрат PSA може бути пов'язана зі стисненням газу до робочого тиску. Тому для промислового проектування необхідно оптимізувати тиск адсорбції, тиск десорбції, тривалість циклу, ступінь вилучення та втрати CO_2.

Критичним обмеженням цеолітної адсорбції є висока спорідненість цеолітів до водяної пари. Експериментальні дослідження показують, що зі збільшенням кількості адсорбованої води адсорбція CO_2 на цеолітах істотно зменшується. Сучасні огляди також розглядають гідрофобізацію, модифікацію поверхні та регулювання складу катіонів як перспективні напрями підвищення стабільності цеолітів у вологих газах [4].

Крім водяної пари, газ вапнякової печі може містити тверді частинки CaO, $CaCO_3$ та інші мінеральні домішки. Їх надходження безпосередньо до адсорбера небажане через можливе збільшення гідравлічного опору та деградацію робочого шару. Тому принципова технологічна схема повинна передбачати охолодження газу, пиловловлювання та контроль вологості перед PSA:

Вапнякова піч → охолодження → пиловловлювання → осушення → компресія → PSA → концентрований CO_2 → карбонізація

Запропонована концепція розглядає CO_2 не як компонент димового газу, що підлягає викиду, а як цінний технологічний ресурс процесу Сольве де CO_2 є необхідним реагентом [1]. Повернення концентрованого потоку до карбонізаційної системи дозволяє підвищити ефективність роботи колон. Проте повторне використання CO_2 у межах технологічного циклу не слід автоматично трактувати як повне скорочення парникових викидів - для цього необхідний повний вуглецевий баланс підприємства з урахуванням подальшого вивільнення CO_2 на інших стадій виробництва.

Перехід вапнякових печей содового виробництва на природний газ змінює склад газового потоку, насамперед через утворення водяної пари та зміну паливної складової CO_2. За умов зниження концентрації CO_2 до 20–25 % виникає технологічна потреба в його концентруванні перед подачею до карбонізації. PSA на основі цеоліту 13X є перспективним напрямом завдяки високій спорідненості цеолітної структури до CO_2, однак його застосування до реального газу вимагає попереднього видалення пилу та контролю вологи.

Список літератури

1. Rahimpour, H., Fahmi, A., & Zinatloo-Ajabshir, S. (2024). Toward sustainable soda ash production: A critical review on eco-impacts, modifications, and innovative approaches. Results in Engineering, 23, Article 102399. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102399

2. Mukherjee, S., Kumar, A., Patil, M. P., & Meshram, R. B. (2026). Advancements in CO_2 capture technologies: A review of amine absorption and alternative methods for post-combustion integration. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, e70256. https://doi.org/10.1002/apj.70256

3. Pérez-Botella, E., Valencia, S., & Rey, F. (2022). Zeolites in adsorption processes: State of the art and future prospects. Chemical Reviews, 122(24), 17647–17695. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00140

4. Wang, Q., et al. (2026). Review on hydrophobic and CO_2 selective zeolites for carbon capture: Recent advances and future perspectives. Energy & Fuels, 40(18), 9778–9802. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6c00268

VOVK L.[1] (UKRAINE, LVIV), BILKOVA E.[2], NOWAK P[2]. (CZECH REPUBLIC, PRAGUE), HALYCH O[3]. (UKRAINE, RIVNE)

ASSESSMENT OF HYDRAULIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HYDROPOWER PLANT OPERATION ON RIVER ECOSYSTEMS

[1] Lviv Polytechnic National University,
12 Stepan Bandera Str., Lviv, Ukraine; vadym.y.fasuliak@lpnu.ua
[2] National University of Water and Environmental Engineering,
11 Soborna Str., Rivne, Ukraine
[3] Czech Technical University in Prague
Jugoslávských partyzánů 1580/3, Prague, Czech Republic

Abstract. Small hydropower plants (SHPPs) play an important role in renewable energy production and support decentralized electricity generation. At the same time, the development and operation of such facilities may affect natural river processes by altering flow patterns, hydraulic characteristics, and aquatic ecosystems. This study investigates the key hydraulic and environmental effects of small hydropower deve-lopment in Ukraine, with particular attention to changes in river flow regulation, water velocity, sediment transport and accumulation, as well as the longitudinal connectivity and ecological integrity of river systems.

Small hydropower plants (up to 10 MW) account for approximately 1% of the global installed electricity generation capacity. China is the global leader, with 41.9 GW of installed capacity, while Ukraine's estimated potential is about 375 MW, accounting for only 0.5% of the global capacity[1]. SHPPs represents a potential source of renewable electricity in Ukraine, particularly in regions with substantial river gradients and hydrological resources. More than 63,000 small rivers and streams are distributed throughout the country, while a considerable proportion of the technical hydropower potential is concentrated in western regions, including Zakarpattia, Ivano-Frankivsk, and Lviv [2].

Nevertheless, the development of small hydropower may generate environmental pressures that require consideration during planning, design, and operation. The construction of weirs and dams, reservoir formation, and water diversion can alter the natural hydrological regime and hydraulic characteristics of rivers. Reduced flow velocities may promote sediment deposition and the development of aquatic vegetation, while water abstraction can reduce discharge in bypassed river sections. Furthermore, barriers without fish passage facilities may interrupt fish migration, particularly in mountain rivers. The analysis indicates that the environmental consequences of SHPP operation are closely related to the hydraulic modifications introduced by individual schemes. Impounding structures and reservoirs can change water levels and flow distribution, inundate adjacent land, and influence riparian vegetation. Reduced velocities in regulated reaches may contribute to sediment accumulation, potentially encouraging the growth of algae and reeds and changing local habitat conditions [3].

Water diversion represents an additional environmental concern, particularly in mountain rivers that experience pronounced seasonal low-flow periods. When a substantial proportion of river discharge is conveyed through pipelines to a powerhouse, the bypassed channel may experience severe flow reduction or temporary drying. Such conditions can affect aquatic habitats and water availability for downstream users.

These impacts are not uniform across all SHPPs; they depend on the plant layout, local hydrology, and environmental characteristics of the river. The reviewed literature identifies the use of existing hydraulic structures and reservoirs as a potentially less disruptive development pathway because it can reduce the need for additional dams, impoundments, and land inundation. Environmental assessment and the maintenance of appropriate river flows remain essential, including when modernizing existing facilities [1, 4].

References

1. Halych O, Bilkova E, Nowak P, Riabenko O. Analysis of Hydropotential and Prospects for Small Hydropower Development in Ukraine. Environmental and Climate Technologies. Riga Technical University, 2023;27(1): 763-774. https://doi.org/10.2478/rtuect-2023-0056
2. Kudri S. O. (ed). Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine. Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2020. (In Ukrainian).
3. Yermilov S. (ed.)., Vovchak V., Teslenko O., Samchenko O. Small hydropower engineering of Ukraine. Analytical review. Volume 1. Kyiv, 2018. (In Ukrainian).
4. Ryzhyi V. M. Assessment of the possibility of building mini-hydroelectric power plants at existing dams on the example of hydroelectric power plants in Zhytomyr region and Pechenizkyi hydroelectric power plant in Kharkiv region. Hydropower engineering of Ukraine 2016:1–2:45–50. (In Ukrainian).

МАТВІЇВ П.В., ТИМЧУК І.С., СЛЮСАР В.Т., ШКВІРКО О.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДИГЕСТАТУ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; petro.v.matviiv@lpnu.ua

Abstract. Organic wastes from agriculture, food processing, municipal services, and wastewater treatment have significant potential for anaerobic digestion and renewable energy production. Biogas yield and energy efficiency depend on substrate composition and process conditions and can be improved through pretreatment and co-digestion. The produced biogas can be used for heat and power generation or upgraded to biomethane. Digestate contains valuable organic matter and nutrients and, after appropriate safety assessment, can be used as an organic fertilizer or soil amendment. Integrated utilization of organic wastes, biogas, and digestate supports resource recovery and the development of a circular bioeconomy.

Зростання потреби у відновлюваних джерелах енергії та необхідність зменшення негативного впливу господарської діяльності на довкілля зумовлюють пошук ефективних технологій використання органічних відходів. Значні обсяги таких відходів утворюються у сільському господарстві, харчовій промисловості, житлово-комунальному господарстві та під час очищення стічних вод, а їх накопичення спричиняє викиди парникових газів і ризики забруднення довкілля. Водночас органічна речовина має значний енергетичний потенціал, який може бути реалізований шляхом анаеробного зброджування з отриманням біогазу та дигестату.

Ресурсний потенціал сировини визначається її обсягами, вмістом органічної речовини та здатністю до біологічного розкладання. Перспективними субстратами є гній і послід, рослинні залишки, відходи харчової промисловості, органічна фракція комунальних відходів та осади стічних вод. Важливими характеристиками є вологість, вміст органічної речовини, співвідношення вуглецю і азоту, кислотність та наявність інгібувальних сполук, тому оцінювати слід не лише кількість, а й технологічну придатність сировини. Ефективність виробництва біогазу залежить від температури, pH, вологості, органічного навантаження та часу утримування субстрату. Попередня обробка, зокрема механічне подрібнення, термічна та ферментативна обробка, підвищує біодоступність органічної речовини. Спільне зброджування різних відходів оптимізує співвідношення поживних компонентів, підвищує стабільність процесу та продуктивність метаногенезу. Отриманий біогаз використовується для виробництва електричної і теплової енергії у когенераційних установках або після очищення – як біометан. Важливим показником технологічної ефективності є співвідношення енергії, отриманої з біогазу, та енергетичних витрат на його виробництво й перероблення сировини.

Важливою складовою біогазових технологій є раціональне використання дигестату. Він містить органічну речовину та доступні форми азоту, фосфору і калію, тому за умови відповідності встановленим вимогам може використовуватися як органічне добриво або компонент ґрунтополіпшувачів. Водночас необхідно контролювати його хімічний склад, мікробіологічні властивості, наявність патогенів і важких металів. Перспективними технологіями поводження з дигестатом є механічне розділення на тверду і рідку фракції, стабілізація, компостування, сушіння та вилучення поживних компонентів. Тверда фракція може використовуватися для виробництва компостів та органічних добрив, а рідка – як джерело доступних форм азоту.

Таким чином, комплексне використання органічних відходів у біогазових технологіях дозволяє одночасно вирішувати енергетичні та екологічні завдання. Оптимізація анаеробного зброджування, попередня обробка та ко-зброджування сировини підвищують вихід метану й енергетичну ефективність установок, тоді як перероблення дигестату забезпечує повернення органічної речовини та поживних елементів у господарський обіг. Такий підхід відповідає принципам циркулярної економіки та сприяє розвитку циркулярної біоекономіки й сталого управління органічними ресурсами.

ЩУСЬ В.М. ШИЛО С.І. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

ПЕРЕДІНВЕСТИЦІЙНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН

НУ «Запорізька політехніка», кафедра «Електричні та електронні апарати», 69011, Україна, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64, e-mail: Nittz.ltd@gmail.com

Abstract. The study develops a pre-investment framework for deep-well geothermal projects in Western Ukraine. Global deployment data, European risk-mitigation measures, Ukrainian policy targets and regional cases are analysed. The approach integrates resource confirmation, well-integrity assessment, thermo-hydraulic modelling, comparison of technical configurations, uncertainty analysis and project economics. Virtual modelling is used to support targeted measurements and field validation before capital-intensive implementation.

Підвищення надійності енергопостачання, диверсифікація джерел енергії та скорочення викидів парникових газів посилюють практичне значення геотермальної енергетики. За підтверджених ресурсних характеристик геотермальний ресурс може забезпечувати виробництво теплової, а за достатнього температурного рівня - електричної енергії без прямої залежності від погодних коливань. Проте сама наявність підвищеної температури на глибині не визначає доцільності проєкту. Її встановлюють за температурним режимом, пластовим тиском, продуктивністю пласта та свердловини, технічним станом конструкції, власним енергоспоживанням, капітальними й операційними витратами та геологічним ризиком. Отже, передінвестиційне обгрунтування має визначити умови технічно надійного й економічно доцільного освоєння ресурсу.

Масштаби світового впровадження підтверджують промислову зрілість технології. За даними IRENA, у 2024 р. у світі введено близько 320 МВт нової геотермальної електричної потужності, а сумарна встановлена потужність досягла майже 15,4 ГВт. Для восьми нових електростанцій у базі IRENA середньозважені питомі капітальні витрати становили 4015 дол. США/кВт, приведена собівартість електричної енергії - 0,060 дол. США/(кВт·год), а коефіцієнт використання встановленої потужності - 88 % [1]. За оцінкою IEA, у сценарному вимірі геотермальна потужність може досягти 800 ГВт у 2050 р. [2]. У Європі у 2025 р. експлуатувалися 150 геотермальних електростанцій потужністю понад 3,5 ГВт і 434 системи геотермального теплопостачання та охолодження потужністю понад 6 ГВт [3].

Однак галузева статистика не дає змоги безпосередньо оцінити конкретний об’єкт, оскільки його показники залежать від властивостей резервуара (пласта), глибини та конструкції свердловин. Найбільша інвестиційна невизначеність формується під час геологічного дослідження, буріння і свердловинних випробувань, коли значні витрати здійснюються до підтвердження продуктивності й стабільності термогідравлічного режиму. Тому зниження ризику потребує поетапного фінансування, достовірних геологічних даних, страхування та фінансових гарантій. Рада ЄС рекомендує прискорювати дозвільні процедури, поліпшувати доступ до фінансування й повторно використовувати придатну підземну інфраструктуру [4], а AccelerateEU COM(2026) 370 - розвивати геологічну базу даних і механізми зниження геотермального ризику [5].

Для України з цього випливають два взаємопов’язані напрями: повторне використання технічно придатних глибоких нафтових і газових свердловин та нове буріння на перспективних ділянках. Наявна свердловина може зменшити витрати на підземну інфраструктуру, але потребує оцінювання температурного профілю, пластового тиску, обсадних колон і цементного кільця, герметичності, гідравлічних характеристик та залишкового ресурсу конструкції. Якщо ці умови не забезпечуються або новий цільовий горизонт має кращі параметри, доцільним є спеціалізоване геотермальне буріння. Національний план дій передбачає 40 МВт геотермальної електричної потужності та 210 ГВт·год виробництва у 2030 р. [6], а Національний план з енергетики та клімату формує нормативно-політичний контекст розвитку [7].

Необхідність пооб’єктного оцінювання підтверджують дослідження Західної України. Для Львівської області опубліковано дані про шість свердловин із температурою геотермальних вод до близько 120 °C на глибинах понад 3000 м, однак ресурс не залучений до енергетичного використання з технічних та економічних причин [8]. Дослідження Geothermal Ukraine, Verkis та ISOR охопило Мостиська, Брюховичі, промислові застосування в Закарпатті та тепличне теплопостачання у Долині [9]. Для тепличного комплексу поблизу Буська досліджено горизонт ND-14 із температурами понад 70 °C, тепловою потужністю до 30 МВт та ймовірністю геологічного успіху близько 20 %. Для об’єкта визначено гібридне рішення з геотермальними тепловими насосами [9]. Ecofield Solotvyno заявлено як

пілотний проєкт 5 МВт електричної та 20 МВт теплової потужності з інвестиційною потребою 30,7 млн дол. США на стадії попереднього ТЕО [10].

Наведені факти свідчать, що методичну основу передінвестиційного обгрунтування слід будувати як послідовне зниження геологічної, технічної, вимірювальної та фінансової невизначеності. Специфікації UNECE 2022 щодо застосування UNFC до геотермальної енергії характеризують умови реалізації, технічну опрацьованість і достовірність оцінки ресурсу [11]. Цілісність нафтогазових свердловин оцінюють з урахуванням ISO 16530-1:2017, а ISO 17628:2015 застосовують у межах його призначення. Верифікацію та валідацію моделей виконують за ASME V&V 20-2009 (R2021), вимірювання - з урахуванням ISO/IEC 17025:2017, невизначеність - за JCGM 100:2008/Amd.1:2026 і JCGM 101:2008, управління ризиками - за ISO 31000:2018, життєвий цикл - за ISO/IEC/IEEE 15288 [12].

Після підтвердження ресурсних і технічних передумов альтернативні конфігурації порівнюють за однакових вихідних даних, граничних умов, розрахункового періоду та критеріїв. Зіставляють пряме теплопостачання, теплові насоси, гідротермальний дублет, замкнений коаксіальний контур, органічний цикл Ренкіна, комбіноване виробництво електричної та теплової енергії, реконструкцію свердловини та нове буріння. Для кожного варіанта визначають корисну теплову й чисту електричну потужність, дебіт або витрату теплоносія, гідравлічні втрати, власне енергоспоживання, CAPEX, OPEX, приведену собівартість енергії, NPV, IRR та строк окупності. Аналіз чутливості виконують щодо температури ресурсу, продуктивності свердловини, вартості капіталу, ціни енергії та ймовірності геологічного успіху; за достатньої статистичної бази застосовують метод Монте-Карло.

Для реалізації запропонованої послідовності розробляється віртуальна лабораторія SCANDRIS V-LAB з гілкою «Джерела енергії» та напрямом «Геотермальні джерела». Її функціональне призначення полягає в інтеграції геологічних, свердловинних і вимірювальних даних із термогідравлічним моделюванням та техніко-економічним аналізом. Віртуальний експеримент розглядається як попередній розрахунково-аналітичний етап, що дає змогу порівнювати технологічні конфігурації, визначати необхідний склад вимірювань і планувати подальшу валідацію моделей у польових умовах.

Отже, доцільність освоєння геотермальних ресурсів глибоких свердловин у Західній Україні визначається не окремими значеннями температури чи розрахункового потенціалу, а сукупністю підтверджених геологічних, свердловинних, термогідравлічних, енергетичних та економічних параметрів. Передінвестиційне обгрунтування має встановити ступінь підтвердження ресурсу, технічну цілісність свердловини, відповідність технологічної конфігурації фактичним умовам експлуатації, енергетичну ефективність та прийнятний рівень геологічного, технологічного і фінансового ризику. Підсумком дослідження має бути аргументоване інженерно-економічне рішення щодо повторного використання чи реконструкції наявної свердловини, нового буріння, проведення пілотного випробування, переходу до промислової реалізації або припинення подальшого опрацювання проєкту. Такий підхід формує обгрунтовану основу для спрямування капіталовкладень у проєкти з підтвердженими ресурсними, технічними та економічними передумовами їх довгострокової експлуатації.

Список літератури:

1. International Renewable Energy Agency. (2025). Renewable Power Generation Costs in 2024. IRENA.
2. International Energy Agency. (2024). The Future of Geothermal Energy. IEA.
3. European Geothermal Energy Council. (2026). EGEC Geothermal Market Report 2025. EGEC.
4. Council of the European Union. (2024, December 16). Geothermal Energy: Council Calls for Faster Deployment.
5. European Commission. (2026). AccelerateEU - Energy Union: Affordable and Secure Energy through Accelerated Action(COM(2026)370final).
6. Кабінет Міністрів України. (2024). Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року. Розпорядження № 761-р від 13.08.2024.
7. Кабінет Міністрів України. (2026). Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. Розпорядження № 562-р від 10.06.2026.
8. Yurkevych, Y., Savchenko, O., & Savchenko, Z. (2022). Prospects for development of geothermal energy in Lviv region. Energy Engineering and Control Systems, 8(1), 1-6. doi:10.23939/jeecs2022.01.001.
9. Geothermal Ukraine. (2024-2025). Preliminary feasibility study of geothermal energy use in Western Ukraine. Study on geothermal energy for greenhouse development in Busk, Lviv, Ukraine.
10. Carpathian 8 Investment Lab. (2026). Pilot Geothermal Power Plant “Ecofield Solotvyno”, C8-UA-049.
11. United Nations Economic Commission for Europe. (2022). Supplementary Specifications for the Application of UNFC to Geothermal Energy Resources. UNECE.
12. Нормативні документи. ISO 16530-1:2017, ISO 17628:2015, ISO/IEC 17025:2017, ISO 31000:2018, ISO/IEC/IEEE 15288:2023, ASME V&V 20-2009(R2021), JCGM 100:2008/Amd.1:2026, JCGM 101:2008.

СЕМІНАР 3

ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ. ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИ-ЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ВОДИ ТА ЕНЕРГІЇ. ЕКОІНОВАЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ

ІВАНЧЕНКО А.В, ГРИЦАН Ю.І., АВЕР'ЯНОВ В.С., КУЛЬБАЧКО Ю.Л.,
СОКОЛ О.Д. (УКРАЇНА, КАМ'ЯНСЬКЕ), БОЦКО Й. (СЛОВАЧЧИНА, КОШИЦЕ),
ОСТРОГА Р.О. (УКРАЇНА, СУМИ)

ОДЕРЖАННЯ ХІМІЧНО МОДИФІКОВАНОГО СОРБЕНТУ З ВІДХОДІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

Дніпровський державний технічний університет
51918, вул. Дніпробудівська, 2, Кам'янське, Україна; dstu.dp.ua
Сумський державний університет
40007, вул. Харківська, 116, Суми, Україна; sumdu.edu.ua
Технічний університет в Кошице
04001, вул. Летна, 1/9, Кошице, Словаччина; tuke.sk

Abstract. A chemically modified sorbent based on walnut shell waste was synthesized for the removal of anionic contaminants from multicomponent aqueous media. The modified sorbent showed a maximum phosphate adsorption capacity of 6.268 mg PO_4^{3-} g^{-1}, which is 2.6 times higher than that of unmodified walnut shell. Removal efficiencies reached 97.0% for phosphate, 95.2% for chloride, and 84.0% for sulfate ions. The results demonstrate that chemically modified walnut shell waste is a promising low-cost and environmentally friendly sorbent for treating industrial wastewater and landfill leachates.

Інтенсивний розвиток промисловості, сільського господарства та урбанізація призводять до постійного зростання антропогенного навантаження на водні екосистеми. Однією з найактуальніших екологічних проблем є забруднення поверхневих і підземних вод біогенними сполуками та мінеральними солями, насамперед фосфатами, сульфатами й хлоридами. Особливо небезпечним є надходження до водойм надлишкової кількості фосфатів, які стимулюють процеси евтрофікації, масовий розвиток синьо-зелених водоростей, зниження концентрації розчиненого кисню та погіршення екологічного стану водних об'єктів [1, 2]. Додаткову небезпеку становлять високомінералізовані промислові стічні води та фільтрати полігонів твердих побутових відходів, що характеризуються складним багатокомпонентним складом.

Традиційні методи очищення таких вод нерідко потребують значних енергетичних і матеріальних витрат. Тому одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасних технологій водоочищення є створення ефективних, дешевих та екологічно безпечних сорбентів із відходів агропромислового комплексу, які є відновлюваною рослинною сировиною [3]. До такої сировини можна віднести шкаралупу волоського горіха, яка характеризується високим вмістом лігноцелюлозних компонентів, значною механічною міцністю, низькою зольністю та доступністю. Проте природна шкаралупа має недостатньо розвинену пористу структуру та відносно невисоку сорбційну активність, що зумовлює необхідність її попередньої хімічної та термічної модифікації [4].

Метою роботи є розроблення способу одержання хімічно модифікованого сорбенту на основі шкаралупи волоського горіха шляхом лужної активації кальцій гідроксидом з подальшим низькотемпературним піролізом, а також дослідження його адсорбційних властивостей під час очищення багатокомпонентних водних середовищ від аніонних забруднювачів.

Для синтезу сорбенту шкаралупу волоського горіха очищали від механічних домішок, промивали, висушували та подрібнювали до необхідної фракції. Підготовлену сировину просочували 20 %-вою суспензією гідроксиду кальцію при кімнатній температурі, після чого промивали до нейтрального значення pH, висушували та піддавали карбонізації в умовах обмеженого доступу кисню. Така технологія забезпечує часткове вилучення аморфних компонентів лігноцелюлозної структури, формування додаткової пористості та закріплення на поверхні сорбенту кальцієвмісних активних центрів, здатних ефективно взаємодіяти з аніонними забруднювачами.

Адсорбційні властивості одержаного матеріалу досліджували на модельних багатокомпонентних водних середовищах, що містили фосфат-, сульфат- та хлорид-іони. Експерименти проводили у реакторі з механічним перемішуванням за температури 298 К. Залишкові концентрації аніонів визначали стандартними фотометричними та титриметричними методами. Для математичного опису процесу адсорбції використовували класичні ізотерми Ленгмюра та Фрейндліха, що дозволило оцінити механізм взаємодії між сорбатом і поверхнею сорбенту.

Отримані результати показали, що процес адсорбції фосфат-іонів характеризується достатньо високою швидкістю, а сорбційна рівновага встановлюється через 24 години контакту. Подальше збільшення тривалості процесу практично не впливає на ступінь вилучення фосфатів, що свідчить про насичення активних центрів сорбенту.

Аналіз ізотерм адсорбції показав істотне підвищення сорбційної здатності після проведення хімічної модифікації. Максимальна адсорбційна ємність модифікованого матеріалу становить 6,268 мг PO_4^{3-}/г (0,066 ммоль/г), тоді як для вихідної шкаралупи волоського горіха цей показник дорівнює 2,374 мг PO_4^{3-}/г (0,025 ммоль/г)**.** Таким чином, застосування лужної активації забезпечує підвищення адсорбційної ємності у 2,6 рази**.**

Апроксимація експериментальних даних рівняннями Ленгмюра та Фрейндліха підтвердила, що процес сорбції відбувається за участю кількох механізмів одночасно. Вірогідно поряд із фізичною адсорбцією у порах вуглецевого матеріалу важливу роль відіграє специфічна хімічна взаємодія фосфат- та сульфат-іонів із кальцієвмісними активними центрами, що утворилися внаслідок модифікування поверхні. Саме це забезпечує високу селективність сорбенту щодо аніонних забруднювачів.

Практичну ефективність синтезованого матеріалу оцінювали під час очищення модельних багатокомпонентних розчинів. Встановлено, що модифікований сорбент забезпечує вилучення 97,0 % фосфат-іонів**,** 95,2 % хлорид-іонів та 84,0 % сульфат-іонів**.** При цьому залишкові концентрації основних забруднювачів відповідають вимогам нормативних документів щодо якості очищених вод. Отримані результати свідчать, що навіть за умов конкурентної адсорбції кількох аніонів ефективність очищення залишається високою. Це пояснюється поєднанням фізичної адсорбції у розвиненій системі мікро- і мезопор із процесами хемосорбції та іонного обміну за участю кальцієвмісних функціональних груп поверхні.

Запропонований спосіб одержання сорбенту має низку суттєвих переваг. Він базується на використанні дешевої та відновлюваної рослинної сировини, не потребує застосування дорогих реагентів, характеризується простотою технологічного виконання та може бути легко масштабований для промислового виробництва. Крім того, комплексна переробка відходів агропромислового комплексу відповідає сучасним принципам «зелених технологій» та сприяє раціональному використанню природних ресурсів [5].

Таким чином, проведені дослідження підтвердили високу ефективність хімічної модифікації шкаралупи волоського горіха кальцій гідроксидом з подальшим піролізом для одержання сорбенту нового покоління. Синтезований матеріал характеризується значно покращеними адсорбційними властивостями, високою селективністю щодо аніонних забруднювачів та перспективністю використання у технологіях очищення промислових стічних вод, фільтратів полігонів твердих побутових відходів і водних середовищ складного складу. Робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України у 2026 році в рамках наукового проєкту «Науково-технічне обґрунтування екологічно-безпечної утилізації відходів агро-промислового комплексу з отриманням функціональних речовин природоохоронного призначення» (№ ДР 0126U002643).

Список літератури:

1. Fediv, I., Stepova, K., Šarko, J., Mažeikienė, A. (2023). Sustainable technology of wastewater treatment by environmentally friendly modified natural sorbents for removal of nitrogen and phosphorus. *International Conference "Environmental Engineering", 12*, 1-6.
2. Феденко, Ю., & Діденко, Д. (2024). Огляд методів очищення стічних вод від сполук різної природи та генезису. Екологічні аспекти. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, (4 (91)), 160-165.
3. Сокол, О. Д., Іванченко, А. В. (2024). Одержання кислотно активованих сорбентів із рослинної сировини та їх випробування для вилучення барвників з модельних розчинів. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки), 1*(44), 169-182.
4. Іванченко, А. В., Сокол, О. Д. (2025). Одержання хімічно активованих сорбентів із вторинної сировини та їх випробування для вилучення барвників зі стічних вод. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, *36*(75), 164-169.
5. Іванченко, А., Воронов, В., Середа, Ю. (2025). Адсорбційне вилучення фосфору з рідких відходів з утилізацією осадів у добрива. *Вісник Херсонського національного технічного університету, 1*(4 (95)), 136-143.

ТИМЧУК А.Ф. (УКРАЇНА, ОДЕСА)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЧОВИН ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Одеській національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, Одеса, Україна, 65082
Tymchuk@onu.edu.ua

Abstract. The research is devoted to the study of the sorption capacity of the natural sorbent chitin and its derivatives with respect to saturated hydrocarbons. It has been experimentally shown that sorption in a static mode is effective for these systems. The degree of sorption is from 80 to 98%. With increasing temperature, the sorption efficiency decreases, this confirms the physical mechanism of sorption. It is also confirmed by IR-spectroscopy studies and calculations of the thermodynamic parameters of the investigated systems. Modeling of sorption processes using the linearized Langmuir, Freundlich, Dubinin–Radushkevich, and Hill–de Boer equations confirms the physical nature of the sorption process, allows the calculation of sorption constants and other parameters for determining the most effective chitin sorbents.

Розвиток нафтохімічної галузі супроводжується зростанням антропогенного навантаження на навколишнє середовище, що пов'язано з утворенням і надходженням забруднюючих речовин під час видобування, перероблення, транспортування, зберігання та використання нафтопродуктів. Потрапляння таких речовин у ґрунт і водні об'єкти може спричиняти порушення функціонування природних екосистем та створювати потенційні ризики для здоров'я людини. Одним із наслідків забруднення є деградація природних територій, зменшення біорізноманіття, витіснення окремих видів тварин і погіршення якості земель, придатних для сільськогосподарського використання.

Особливу небезпеку становить забруднення водних ресурсів нафтою та продуктами її переробки, зокрема внаслідок утворення промислових стічних вод і виникнення аварійних розливів. Наявність у водному середовищі нафтопродуктів, органічних сполук, синтетичних барвників, фармацевтичних речовин і пестицидів негативно впливає на стан водних екосистем. З огляду на це актуальним завданням є пошук ефективних способів вилучення широкого спектра мікрозабруднювачів із води. Перспективні технології очищення мають поєднувати високу ефективність із низькими енергетичними витратами, доступністю, економічною доцільністю та мінімальним впливом на довкілля.

Одним з перспективних методів очищення водних середовищ є сорбційний метод з використанням природних сорбентів, що мають низку переваг, оскільки характеризуються доступністю, відносно низькою вартістю та меншим екологічним навантаженням. Перспективним природним сорбційним матеріалом є хітин, а також матеріали на його основі, які можуть застосовуватися для вилучення нафтопродуктів та інших токсичних речовин із водного середовища. Застосування хітину та його композитів сприяє підвищенню ефективності очищення забруднених вод і розширенню можливостей використання біополімерних сорбентів у природоохоронних технологіях. Отже, своєчасне виявлення забруднювачів та розроблення ефективних методів їх вилучення є важливими передумовами збереження якості водних ресурсів, захисту екосистем і забезпечення екологічної безпеки.

Представлені дослідження присвячені вивченню сорбційної здатності хітину, отриманого з панцирів ракоподібних, та його похідних по відношенню до ряду насичених вуглеводнів, що є складовими нафти та нафтопродуктів. Передчасно проводили подрібнення сорбенту з використанням планетарного мономлина «Pulverisette 6» та розсіювання по фракціях - за допомогою вібраційної машини «Analysette 3». Для досліджень було відібрано фракцію з розміром частинок $(1{,}0\text{-}2{,}5)\cdot10^{-4}$м. Дослідження показали, що сорбція в статичному режимі достатньо ефективна для даних систем. Ступінь сорбції складає від 80 до 98%. З підвищенням температури ефективність сорбції знижується, що говорить на користь процесів за рахунок фізичних сил, а саме гідрофобних та ван-дер-ваальсових. Це було підтверджено дослідженнями ІЧ-спектроскопії та розрахунком термодинамічних параметрів досліджуваних систем. Моделювання процесів сорбції за допомогою лінеарізованих рівнянь Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радушкевича, Хілла-Де Бура підтверджує фізичну природу сорбційного процесу та дозволяє передчасно провести розрахунки сорбційних констант для визначення найбільш ефективних хітинових сорбентів за їх природою, оптимальним pH середовища та температурним режимом процесу.

СОКОЛОВ А.В.[1], УЛИЦЬКИЙ О.А.[2], Д'ЯЧЕНКО Н.О.[2] (УКРАЇНА, КИЇВ)

ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ, ПІСЛЯ АВАРІЙНОГО РОЗЛИВУ

[1]ДНУ «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, e-mail: staroilua@gmail.com
[2]ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», 03142, м. Київ, просп. Академіка Палладіна, 34-А. e-mail: olegulytsky@gmail.com

Abstract. A comprehensive technology for the remediation of oil-contaminated soils is proposed, combining mechanical removal of the free phase, decantation and vacuum distillation. The effectiveness of the technology has been assessed using a system of integrated environmental indicators. Experimental studies showed a reduction in the concentration of petroleum products from 43,640 to 2,180 mg/kg and an overall purification efficiency of 95%, confirming the technology's potential for the restoration of contaminated sites.

Аварійні розливи нафтопродуктів є одним із найбільш небезпечних видів техногенного впливу на геологічне середовище. Особливої актуальності ця проблема набула в Україні внаслідок пошкодження об'єктів паливно-енергетичної інфраструктури під час воєнних дій. При руйнуванні резервуарів бензин, дизельне паливо та інші легкі нафтопродукти можуть швидко проникати крізь зону аерації, накопичуватися над рівнем ґрунтових вод і формувати осередки вторинного забруднення.

Традиційне механічне вилучення є ефективним переважно щодо мобільної, вільної фази забруднювача. Значна частина нафтопродуктів при цьому залишається у поровому просторі ґрунту в капілярно зв'язаному та адсорбованому стані. Саме ця залишкова фракція може тривалий час бути джерелом забруднення ґрунтів і підземних вод. Тому перспективним природоохоронним напрямом є застосування комбінованих технологій, у яких різні методи очищення послідовно доповнюють один одного.

Метою дослідження було комплексне оцінювання ефективності технології очищення нафтовозабруднених ґрунтів, що передбачає послідовне механічне вилучення мобільної нафтової фази, декантацію та вакуумну дистиляцію. Особливістю запропонованого підходу є не лише визначення кінцевої концентрації забруднювача, а й використання системи інтегральних показників, за допомогою яких оцінюються технологічна результативність, залишкове техногенне навантаження, екологічний ризик та потенційна міграційна небезпека.

Дослідження проведено на території нафтобази у смт Бородянка Київської області, пошкодженої під час бойових дій. Руйнування резервуарів спричинило аварійний витік близько 1200 м³ світлих нафтопродуктів, унаслідок чого сформувався осередок забруднення ґрунтів і верхнього водоносного горизонту. Польові роботи включали буріння 9 спостережних свердловин, визначення рівнів ґрунтових вод, дослідно-фільтраційні випробування та відбір проб ґрунту.

Математичне моделювання поширення забруднювачів дозволило визначити просторові параметри нафтової лінзи та обґрунтувати розміщення системи вилучення [1,2].

На першому технологічному етапі здійснювалося механічне вилучення мобільної нафтової фази. Для цього було пробурено 140 свердловин загальною довжиною 710 м, через які проводилося відкачування суміші нафтопродуктів і води методом желонування. У результаті середня концентрація нафтопродуктів у ґрунті знизилася з 43 640 до 18 760 мг/кг, тобто на 57 %. Водночас значна частина забруднювача залишилася у ґрунті, що підтвердило необхідність застосування додаткової технології доочищення.

Інноваційна складова запропонованої технологічної схеми полягає у поєднанні механічного вилучення з декантацією та вакуумною дистиляцією [3]. На другому етапі забруднений ґрунт попередньо диспергували у водному середовищі та інтенсивно перемішували. Вільну нафтову фазу відділяли гравітаційним методом, після чого залишкові вуглеводні вилучали методом вакуумної дистиляції. Лабораторно-технологічні випробування проведено на п'яти інтегрованих пробах ґрунту загальною масою 1000 кг. Середня концентрація нафтопродуктів до початку очищення становила 43 640 мг/кг. Після механічного вилучення вона зменшилася до 18 760 мг/кг, а після декантації та вакуумної дистиляції — до 2180 мг/кг. Таким чином, загальна ефективність очищення становила 95 %, тоді як другий технологічний етап забезпечив видалення понад 88 % забруднювача, що залишався після механічного очищення.

Для кількісного обґрунтування природоохоронної ефективності технології використано систему інтегральних показників. Коефіцієнт зниження забруднення визначався як відношення початкової

концентрації до концентрації після очищення. Для досліджуваних ґрунтів його значення становило 20,02, тобто концентрація нафтопродуктів зменшилася більш ніж у 20 разів. Загальна ефективність очищення за зміною концентрації становила 95,0 %, а коефіцієнт залишкового забруднення — 0,05, що відповідає приблизно 5 % від початкової концентрації.

Важливим результатом є зниження екологічної небезпечності території. За нормативної концентрації 1000 мг/кг коефіцієнт екологічного ризику до очищення становив 43,64, що відповідає високому рівню ризику, а після проведення повного циклу ремедіації зменшився до 2,18, тобто більш ніж у 20 разів. Одночасно індекс потенційної міграційної небезпеки зменшився з 436,4 до 21,8, що свідчить про істотне зниження потенційної загрози забруднення підземних вод.

Додатково ефективність технології підтверджено матеріальним балансом. У 1 т дослідного ґрунту початкова маса нафтопродуктів становила 43,64 кг, після завершення очищення залишалося 2,18 кг, а загальна маса вилученого забруднювача становила 41,46 кг. При цьому 24,9 кг було видалено під час механічного вилучення, а ще 16,6 кг — у процесі декантації та вакуумної дистиляції. Отже, завершальний етап забезпечив близько 40 % загальної маси вилучених нафтопродуктів, незважаючи на те, що працював переважно із залишковою, найбільш міцно зв'язаною фракцією забруднювача.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання комбінованих природоохоронних технологій для відновлення територій, забруднених нафтопродуктами внаслідок аварійних розливів. Поєднання механічного вилучення, декантації та вакуумної дистиляції дозволяє впливати на різні форми знаходження забруднювача — від мобільної нафтової фази до капілярно утримуваних та адсорбованих вуглеводнів. Запропонована система інтегральних показників забезпечує можливість оцінювати не лише кінцеву концентрацію полютантів, а й зміну екологічного ризику та потенціалу їх подальшої міграції.

Практична цінність технології полягає у можливості її застосування для ліквідації наслідків аварійних розливів нафтопродуктів на об'єктах паливно-енергетичної інфраструктури, нафтобазах, автозаправних станціях, складах паливно-мастильних матеріалів та інших потенційно небезпечних об'єктах. Результати можуть бути використані під час розроблення технологічних регламентів ремедіації, методичних рекомендацій з оцінювання ефективності очищення та проведення екологічного аудиту забруднених територій.

Висновки. Запропонована комплексна технологія очищення забезпечила зниження концентрації нафтопродуктів у ґрунті з 43640 до 2180 мг/кг, що відповідає 95 % ефективності ремедіації. Коефіцієнт зниження забруднення становив 20,02, а коефіцієнт залишкового забруднення — 0,05. Екологічний ризик та потенційна міграційна небезпека зменшилися більш ніж у 20 разів. Отримані результати обґрунтовують перспективність застосування поєднання механічного вилучення, декантації та вакуумної дистиляції як інноваційної природоохоронної технології для відновлення нафтовозабруднених ґрунтів після аварійних розливів.

Список літератури:

[1] Улицький О., Д’яченко Н., Соколов А., Сердюкова О. Математичне моделювання при оцінці забруднення зони аерації нафтопродуктами в умовах надзвичайної ситуації. *Вісник Харківського нац. ун-ту ім. Каразіна. Серія: Географія, геологія, екологія*, 59, 2023. – С. 44-54. DOI: https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-04.

[2] Boiko K.E., Diachenko N.O., Ulytsky O.A., Sokolov A.V. Abstract ID: Mon23-019, Assessment of accidental penetration of petroleum products into the geological environment and scientific substantiation of minimizing negative changes. XVII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment” 7-10 November 2023. (Kyiv, Ukraine). 2023. - P. 1-5. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520019

[3] Соколов А.В., Улицький О.А., Д’яченко Н.О. Впровадження технології декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин для підвищення рівня екологічної безпеки. *Екологічні науки* 4 (55), 2024. – С. 124-129. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.20

ЛАРЮШКІН В.О.[1], САКАЛОВА Г.В.[1], БОРДУН І.М.[2] (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ, ЛЬВІВ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ БЕНТОНІТУ, ВИКОРИСТАНОГО У ПОСЛІДОВНОМУ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД

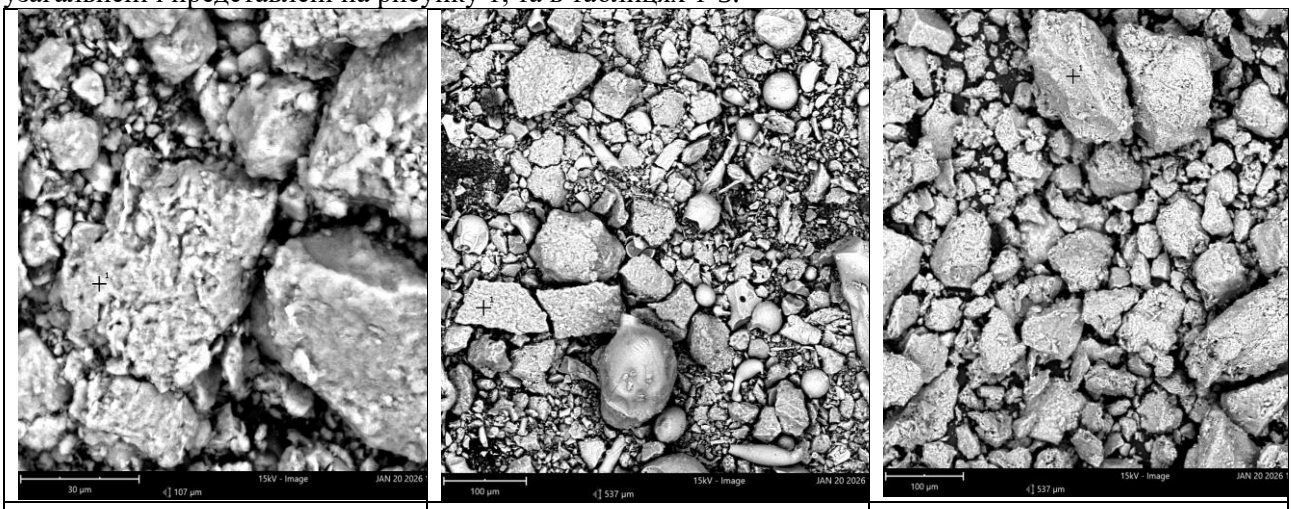
[1]Вінницький національний технічний університет
21000, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна
[2]Національний університет "Львівська політехніка"
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна
v.aleksandrov.arch@gmail.com

Abstract. The structural characteristics and elemental composition of natural bentonite, as well as of bentonite pre-saturated with pollutants in an aqueous medium, were investigated and analysed. The results indicate that bentonite modified by the prior adsorption of phosphate ions exhibits increased sorption activity, which is attributed to the activation of the adsorbent's surface.

Для визначення методів ефективного використання одного з ключових глинистих матеріалів – бентоніту, як адсорбенту в технологіях водоочищення з повторним використанням та подальшою утилізацією цього матеріалу, важливо дослідити зміни в структурі мінералу, його характеристик у процесі поглинання полютантів із водного середовища. Ряд наукових досліджень і публікацій [1-3] вказують, що модифікація, термічна або хімічна переробка глинистих мінералів дуже часто змінює їхню структуру та властивості, тому важливо визначити, як використання бентоніту та вміст полютантів, що він поглинув, впливає на його структурні, механічні та реологічні властивості. Комплексне використання методів сканувальної електронної мікроскопії (SEM), енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS) дозволяє всебічно охарактеризувати зміни, що відбуваються у структурі та на поверхні бентоніту після адсорбції полютантів, а також можливість подальшого використання відпрацьованого сорбційного матеріалу.

Метою дослідження було визначення впливу послідовної сорбції фосфат-іонів та іонів хрому (III) на морфологію поверхні і елементарний склад глинистого сорбенту бентоніту, встановлення механізму поверхневих змін, а також оцінка збереження структури мінералу і перспективи його регенерації та повторного використання.

Результати досліджень методом SEM та елементного складу EDS трьох досліджених зразків узагальнені і представлені на рисунку 1, та в таблицях 1-3.



Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3

Рис. 1. SEM- зображення зразків:
Зразок 1 – чистий бентоніт; *Зразок 2* –бентоніт, насиченого іонами Cr^{+3}
Зразок 3 – бентоніт, насиченого іонами PO_4^{3-} і Cr^{+3}

Порівнюючи SEM-зображення зразка бентоніту, насиченого іонами PO_4^{3-} і Cr^{+3} (Figure 3) із зображеннями зразків 1 і 2, варто зазначити, що морфологія залишається подібною до природного бентоніту, також спостерігають локальні утворення. Однак такі локальні нашарування виражені слабше, ніж у зразку 2; при цьому поверхні виглядає більш компактною. Імовірно, що у цьому випадку, пори бентоніту заповнені у більшій мірі.

Таблиця 1

Результати локального EDS - аналізу зразка чистого бентоніту (*Зразок 1*)

Номер елементу	Символ елементу	Атомна концентрація, %			Вагова концентрація, %		
		1. spot	2. spot	3. spot	1. spot	2. spot	3. spot
8	O	65.53	54.28	74.12	53.13	37.66	60.95
14	Si	18.54	26.73	15.80	26.38	32.56	22.81
13	Al	8.53	8.95	4.62	11.67	10.47	6.40
26	Fe	1.59	5.65	1.67	4.49	13.69	4.80
6	C	4.54	–	–	2.76	–	–
12	Mg	1.27	2.81	3.38	1.57	2.96	4.22
19	K	–	1.57	0.40	–	2.67	0.81

Таблиця 2

Результати EDS - аналізу зразка бентоніту, насиченого іонами Cr^{+3}(*Зразок 2*)

Номер елементу	Символ елементу	Атомна концентрація, %			Вагова концентраця, %		
		1. spot	2. spot	3. spot	1. spot	2. spot	3. spot
8	O	65.27	78.00	72.45	50.52	62.40	58.78
14	Si	21.76	0.86	16.97	29.57	1.21	24.17
13	Al	6.56	–	5.84	8.57	–	7.99
26	Fe	2.18	–	1.61	5.90	–	4.57
12	Mg	3.54	–	2.14	4.17	–	2.64
16	S	–	8.17	0.74	–	13.10	1.20
24	Cr	–	5.78	0.25	–	15.02	0.66
19	K	0.67	–	–	1.27	–	–
11	Na	–	7.19	–	–	8.26	–

Таблиця 3

Результати EDS - аналізу зразка бентоніту, насиченого іонами PO_4^{3-} і Cr^{+3} (*Зразок 3*)

Номер елементу	Символ елементу	Атомна концентрація, %			Вагова концентрація, %		
		1. spot	2. spot	3. spot	1. spot	2. spot	3. spot
8	O	75.46	64.91	66.81	62.70	49.37	46.05
14	Si	14.72	22.20	13.54	21.48	29.64	16.39
13	Al	7.01	7.64	5.76	9.83	9.80	6.69
26	Fe	1.36	2.72	10.25	3.95	7.21	24.66
12	Mg	1.13	1.56	1.35	1.43	1.80	1.41
24	Cr	–	0.59	1.66	–	1.46	3.72
19	K	0.30	0.39	0.64	0.62	0.72	1.08

EDS – аналіз, представлений у таблиці 3, підтверджує, що пори заповнені іонами хрому (III); хром присутній у двох spot (максимально 3,72%), але без таких високих локальних концентрацій, як у випадку з зразком2. Отже, адсорбція Cr^{+3} іонів відбувається більш рівномірно за рахунок попередньої адсорбції фосфат-іонів і модифікації поверхні. Оскільки аналітично визначено, що фосфат іони не перейшли у розчин, а за EDS – аналізом фосфор не визначено, найбільш імовірно, при поглинанні фосфат іонів утворився їх тонкий поверхневий шар, який при подальшому поглинанні хром-іонів призвів до утворення координаційних структур типу Cr-O-P, Fe-O-P і Al-O-P. Додатково цю гіпотезу підтверджує відсутність у зразку 3 Сульфуру, який був внесений модельним розчином, тобто хром вже не відкладається у вигляді окремих сульфат-агломератів, а закріплюється на поверхні більш сильно і рівномірно. Також фосфати обов'язково входять до складу поверхневих комплексів, але очевидно, що їх концентрація нижча за межу виявлення методу.

Незважаючи на більш рівномірну та шарувату структуру зразка 3, варто припустити, що сорбційні властивості його будуть гірші за чистий бентоніт. Сорбційна ємність зменшиться за рахунок зниження кількості доступних адсорбційних центрів та зв'язуванні частини поверхневих ОН-груп. Отже, подальше використання бентоніту, як сорбенту буде мало ефективне, а його регенерація, хоча і технологічно не є складною, недоцільна з економічних міркувань.

Список літератури:

[1] Y. Budash, V.Plavan, N.Tarasenko, O.Ishchenko, M.Koliada Effect of Acid Modification on Porous Structure and Adsorption Properties of Different Type Ukrainian Claysfor Water Purification Technologies, *Journal of Ecological Engineering*, 2023. 24(5) 210–221. DOI:10.12911/22998993/161691

[2] Chokri, M., *et al*. Progress in bentonite clay modification and enhancing properties to industrial applications: A review. *Materials Chemistry and Physics*, 2025. 337. 130486. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2025.130486.

[3] Myroslav Malovanyy, Ihor Bordun, Halyna Sakalova, Alina Blazhko, Natalia Beznosiuk. Adsorption Purification of Wastewater from Chrome Ions and Phosphate Ions with Bentonite. *Key Engineering Materials*, 2022. 925. 111-116. DOI:10.4028/p-8vmxtc

БОЙКО Р.С.[1], САКАЛОВА Г.В.[1], ТИХОЛАЗ А.С.[2] (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ БЕНТОНІТІВ ПІСЛЯ СОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

[1]Вінницький національний технічний університет,
21000, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна
[2]Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
21001, вул. Острозького 32, м. Вінниця, Україна
brsvinn@gmail.com

Abstract. Effective utilization of spent clay sorbents helps to reduce the anthropogenic load on the environment and improve recycling technologies for highly dispersed clays. The research involved a comparative analysis of natural, modified, and spent montmorillonite using determination of the colloid-chemical characteristics of dispersions, plotting of adsorption isotherms.

Сорбційні технології є найбільш перспективним способом очищення поверхневих і стічних вод, і широко застосовуються у багатьох країнах. Основні переваги використання високодисперсних глин як сорбентів це їх висока ефективність, доступність та відносна низька вартість. Враховуючи останній аспект, регенерація та повторне використання таких сорбентів найчастіше є недоцільними, тому такі матеріали найчастіше захоронюють, або ж утилізують в складі грунтосумішей або будівельних матеріалів, за умови що відпрацьовані сорбенти не містять токсичні полютанти [1].

Глинисті матеріали, окрім сорбційних технології, також широко використовують у різних виробництвах (будівельні матеріали, нанокомпозити, наповнювачі, та ін). Простота обробки, екологічність, економічна ефективність глинистих мінералів постійно сприяють зростанню інтересу до використання глини для розробки різноманітних продуктів. З огляду на це, актуальними і перспективними напрямками досліджень є промислове застосування відпрацьованих глинистих сорбентів, створення на їх основі композитних і багатофункціональних матеріалів. Ефективна утилізація відпрацьованих сорбційних матеріалів допомагає не тільки зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище, але і вдосконалити технології створення альтернативних матеріалів внаслідок застосування високоякісного глинистого матеріалу [2].

Незважаючи на те, що природні високодисперсні мінерали широко використовуються в багатьох галузях народного господарства, обмеженість наукових досліджень зумовлює низький рівень використання відпрацьованих глинистих сорбентів у процесах виробництва і переробки природних та штучних полімерів, наповнювачів і сорбційної основи, хоча багато спеціалістів вважають такий напрямок дуже перспективним.

Аналіз останніх досліджень показує, що в основі застосування монтморилонітів в складі наповнювачів і поліфункціональних матеріалів лежать специфічні колоїдно−хімічні властивості, які зумовлені кристалічною будовою мінералів. Хімічний склад і особливості кристалічної структури монтморилоніту (бентоніту) за відношенням алюмо− та кремнекисневих шарів зумовлюють комплекс їх сорбційних, обмінних, коагуляційних властивостей та здатність до диспергування, що ефективно при наповненні полярних полімерів, де відзначено підвищення їх фізико-хімічних властивостей. Найбільший інтерес представляють дослідження по розробці технології отримання кольорових пігментних концентратів на основі бентонітів, що містять іони важких металів і/або органічні барвники [3]. Варто зазначити, що описані методи стосуються використання чистих глин, додатково оброблених комплексними сполуками з вмістом важкого металу, а питання аналогічного використання відпрацьованих сорбентів, що містять у своїй структурі полютанти – іони важких металів – залишається дискусійним.

Мета дослідження полягала у вивчені можливості використання відпрацьованих бентонітів, з вмістом іонів хрому (III) у складі пігментних концентратів для полімерно-мінерального покриття.

Аналіз досліджень здійснювали шляхом порівняння властивостей трьох об’єктів:

Зразок 1: Модифікований монтморилоніт після обробки розчином комплексного сульфату хрому (III) (витрати 10,0 % від маси сухого мінералу в перерахунку на Cr_2O_3);

Зразок 2: Відпрацьований монтморилоніт, із залишковим вмістом хрому (III) – 7−8 % % від маси сухого мінералу в перерахунку на Cr_2O_3.

Зразок 3(контрольний): Природна бентонітова глина з вмістом мінералу монтморилоніт – 85%;

Вивчення сорбційної здатності модифікованого монтморилоніту та механізму адсорбції

синтетичних аніонних барвників на поверхні мінерального сорбенту для зразків дисперсій 1 (модифікований монтморилоніт) і 2 (відпрацьований монтморилоніт).

Модифікація першого зразка передбачала послідовну обробку бентоніту Черкаського родовища (вміст монтморилоніту 85 %) карбонатом натрію (6,0 % від маси сухого мінералу) та додавання в створену таким чином натрій –дисперсію монтморилоніту розчину гідроксохромових комплексів у вигляді основного сульфату хрому $Cr_2(SO_4)_n(OH)_{6-2n}$, (вміст Cr_2O_3 – 25.6 %, основність – 33 %). Вміст катіонів хрому у зразку становив максимально 10% в перерахунку на Cr_2O_3 [15].

Відпрацьований бентоніт (зразок 2) для переведення у дисперсну форму обробляли розчином карбонату натрію (6.0 % від маси сухого мінералу). Вміст катіонів хрому у зразку становив максимально 8% в перерахунку на Cr_2O_3.

Характеристика сорбентів у дисперсній формі наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Колоїдні і хімічні характеристики дисперсій монтморилоніту

Номер зразка	Основність, OH/Cr	Поверхневий заряд, μКул/см^2	d_{001}, Å	Питома S, м^2/г	pH	Питомий K, 10^{-4} Сім/см	ζ, мВ
1	1.5	1.07	16.8	280	4.9	3.70	+32.3
2	1.3	1.1	17.4	260	4.5	3.43	+30.7

Отримані дисперсії сорбентів характеризується високою питомою поверхнею, позитивним зарядом сорбційної поверхні. Значення основності підтверджує результати термічного аналізу, проведені попередньо [4] про близьке значення поглинутих ОН-груп і іонів хрому поверхнею монтморилоніту, також дисперсії на основі зразків 1 і 2 мають в приблизно однакові значення pH та питомої електропровідності. Також результати термогравіметричного аналізу узгоджується з близькими значеннями міжплощинної відстані d001 і підтверджує збереження набухаючих властивостей та доступності міжшарового простору для молекул барвників. Крім того, дещо більша міжплощинна відстань у зразка 3 (17,4 Å) може сприяти проникненню молекул барвників у внутрішні шари структури та їх додатковій фіксації. Близькі значення поверхневого заряду, ζ-потенціалу, міжплощинної відстані та питомої площі поверхні свідчать про те, що попередня сорбція іонів хрому (III) не призводить до суттєвого погіршення колоїдно-хімічних властивостей глинистого сорбенту. Таким чином показано, що відпрацьований бентоніт зберігає пористу структуру, активні центри сорбції а, отже здатність ефективно поглинати аніонні барвники у широкому інтервалі концентрацій.

Подальшим аналізом отриманих ізотерм при сорбціні барвників: аніонного темно-зеленого, аніоного чорного і аніонного синього встановлено, що аніонні барвники здатні осаджуватись й адсорбуватись на поверхні монтморилоніту при витратах 100 % від маси абсолютно сухого мінералу, тобто при співвідношенні «монтморилоніт : барвник» як 1:1, що буде враховано при отриманні пігментних концентратів для полімерно − мінерального покриття шкір.

Використання відпрацьованого бентоніту в поліфункціональних матеріалах для обробки полімерів природного і штучного походження буде сприяти значній економії ресурсів і підвищуватиме екологічність промислових процесів.

Список літератури:

[1] Christina Soloviy, Myroslav Malovanyy, Olga Palamarchuk, Iryna Trach, Halyna Petruk, Halyna Sakalova, Tamara Vasylinych, Nataliya Vronska. (2021). Adsorption method of purification of stocks from chromium(III) ions by bentonite clays. *Journal of water and land development*. 48 (I–III), P.99–104; https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136152

[2] Kryklyvyi, R., Sakalova, H., Petrushka, K., Luchyt, L. (2022). Use of clay sorptive materials in the synthesis of polymer materials. *Environmental Problems*. 7(1). 18-22. https://doi.org/10.23939/ep2022.01.018

[3] Bondaryeva, A., Mokrousova, O., Okhmat O. (2021). Hybrid Pigments Based on Montmorillonite and Anionic Dyes for Leather Finishing. *Solid State Phenomena*, 320, 198–203. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.320.198

[4] Sakalova, H., Malovanyy, M., Kochubei, V., Boiko, R., & Vasylinych, T. (2025). Determination of utilization directions for spent bentonite sorbents. *Pollack Periodica*. https://doi.org/10.1556/606.2025.01396.

СТРУМІНСЬКА О.О., ГЛАДИШ Н. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

МІКРОБІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ І ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76000, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна; olena.struminska@nung.edu.ua

Abstract. Fertilizers significantly increase yields and improve plant growth by increasing the level of essential nutrients in the soil. Excessive or improper use of fertilizers can lead to soil degradation, which can reduce their fertility, productivity and harm ecosystems. Therefore, environmentally friendly approaches to increase soil fertility and crop yields are actively studied. Promising in this regard is the use of biopolymers for pre-sowing seed treatment - high-molecular organic compounds of natural origin, which usually do not have a toxic effect on seeds, are environmentally safe and decompose in the soil, and their use is also economically profitable.

Біополімерні плівкоутворюючі композиції з мінеральними сполуками у своїй структурі здійснюють позитивний вплив на ріст рослин та сприяють збільшенню урожайності, покращуючи проростання насіння та здійснюючи захист від патогенів. Важливою властивістю біополімерів є здатність до утворення плівки. Завдяки цьому їх використано для досліджень у якості плівкоутворювачів для фіксації добрив на поверхні зерна та насіння, його захисту від механічних ушкоджень тощо. Для позитивних результатів плівка має розчинятися з оптимальною швидкістю, що є можливим при певному діапазоні її товщини. Експериментально визначено, що її оптимальна товщина складає 20-35 мкм. Використання у складі композицій мінеральних речовин у високих концентраціях може проявляти пригнічуючу дію на розвиток деяких бактерій та цвілених грибів, демонструючи таким чином мікробоцидний ефект. Виходячи з цього, здійснено аналіз досліджуваних зразків біополімерів та їх композицій на загальну кількість мікроорганізмів та на наявність специфічних груп мікроорганізмів – кишкової палички, цвілевих грибів та дріжджів (або дріжджеподібних грибів).

Таблиця 1

Результати мікробіологічного аналізу досліджуваних зразків карамелізованої сахарози, композицій на її основі та оцінка їхньої бактерицидної активності

Проби	№ зразка	Середовище			
		МПА	Ендо	Сусло-агар	Чапека
Карамелізована сахароза	1	160 КУО/ г	НВ	НВ	НВ
Карамелізована сахароза	2	100 КУО/ г	НВ	НВ	НВ
Карамелізована сахароза+нітроамофоска	3	400 КУО/ г	НВ	НВ	НВ
Карамелізована сахароза+нітроамофоска	4	250 КУО/ г	НВ	28 КУО /г	НВ
Композиція на основі ксантанової смоли	5	7000 КУО/ мл	НВ	18 КУО / мл	5500 КУО/ мл
Композиція на основі ксантанової смоли	6	10000 КУО/ мл	НВ	7 КУО / мл	2000 КУО/ мл

Примітка: НВ – не виявлено; склад досліджуваних зразків:
Зразок № 1: $C_{12}H_{22}O_{11}$ (кар.) - 93,89%, H_2O – 6,11%;
Зразок № 2: $C_{12}H_{22}O_{11}$ (кар.) - 92,17%, H_2O – 7,83%;
Зразок № 3: $C_{12}H_{22}O_{11}$ (кар.) - 64,29%, нітроамофоска - 34,44%, H_2O – 1,27%;
Зразок № 4: $C_{12}H_{22}O_{11}$ (кар.) – 80,3%, нітроамофоска – 19,15%, H_2O – 0,55%;
Зразок № 5: КСА – 0,5%, нітроамофоска - 19%, мікроелементи – 1%, H_2O – 79,5%;
Зразок № 6: КСА – 0,5%, нітроамофоска – 5,454%, NH_4NO_3 - 7,272%, KNO_3 - 3,636%, $(NH_4)_2CO$ - 3,636%, мікроелементи – 1%, H_2O – 78,502%.

У жодному зі зразків не виявлено бактерій кишкової групи, що свідчить про відносну чистоту досліджуваних препаратів і можливу відсутність інших груп патогенних бактерій. Препарати чистої карамелізованої сахарози та її композицій не містили також дріжджів та спор цвілевих грибків. Незначна кількість дріжджів виявлена лише у зразку № 4. Звичайна сахароза – легкозасвоюваний енергетичний субстрат для багатьох мікроорганізмів, проте при карамелізації сахарози відбувається її

окислення, виникають зшивки між молекулами з утворенням ненасичених полімерів (у досліджуваних композиціях сахароза представлена у вигляді розгалуженої структури зі збереженими фуранозними та піранозними циклами). У такому вигляді сахароза стає недоступною як джерело живлення для більшості мікроорганізмів через відсутність у них ферментів, які б могли розщепити утворені полімерні комплекси. Також при карамелізації сахарози утворюється низка хімічних продуктів, такі як гліоксаль та метилглікосаль (продукти автоокислення глюкози та фруктози), які є небезпечними для життєдіяльності живих організмів, зокрема мікроорганізмів. Ймовірно, за вищого вмісту сахарози у зразку, рівень утворених токсичних продуктів при карамелізації є вищим й інгібуюча дія на мікроорганізми проявляється різкіше. За зниження вмісту сахарози у зразках, інгібуючий ефект послаблюється (№ зразків 3, 4).

Встановлено також, що сухі чисті зразки ксантану (КСА) суттєво забруднені спорами цвілевих та дріжджеподібних грибів, які при попаданні у вологе середовище швидко проростають та містять значно більшу загальну кількість мікроорганізмів, ніж зразки крохмалю та Na-карбоксиметилцелюлози. Мікробіологічний аналіз показав відсутність спор цвілевих грибів та дріжджів у досліджуваних зразках карамелізованої сахарози без домішок речовин іншої природи. Невелика кількість дріжджів може бути наявною у її композиціях ($C_{12}H_{22}O_{11}$ (кар.) – 80,3 %) та композиціях на основі КСА (0,5 %). Композиції на основі КСА із вмістом нітроамофоски містять значну кількість мікроорганізмів, зокрема спор цвілевих грибів та дріжджів. В той же час, композиційні розчини на основі КСА та складнішого набору мінеральних сполук проявляють бактерицидні та фунгіцидні властивості, інгібуючи розвиток мікроорганізмів.

Використання розчинів досліджуваних композицій біополімерів дозволяє помітно зменшити сумарні витрати мінеральних добрив і мікроелементів, порівняно з контрольними ділянками, де добрива безпосередньо вносили в ґрунт, зокрема для кукурудзи, ріпаку, пшениці, сої, рису, льону, соняшнику. Реальні витрати мінеральних добрив в кг на 1га площі посіву для кожної з культур при нанесенні їх на поверхню насіння у складі біополімерної плівки були в середньому у 9-45 раз меншими для пшениці, рису, сої та льону, ніж при внесенні цих добрив в безпосередньо ґрунт.

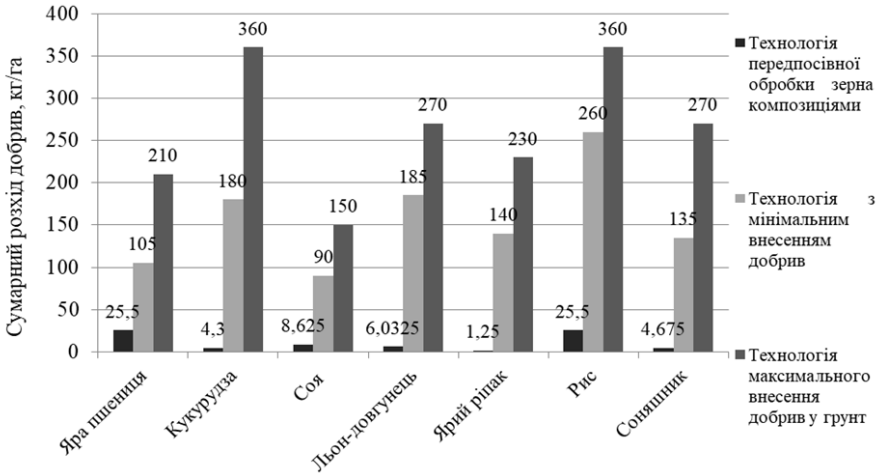


Рис. 1. Сумарна витрата мінеральних сполук та добрив при різних технологіях підживлення

Список літератури:

[1] Abdul Khalil H., Jha K., Yahya E., Panchal S., Patel N., Garai A., Kumari S., Jameel M. Insights into the potential of biopolymeric aerogels as an advanced soil-fertilizer delivery systems. Gels. Vol. 9(8). 2023. 666. https://doi.org/10.3390/gels9080666

[2] ***Струмінська О.О.,*** *Челядин Л.І., Байляк М., Челядин В.Л.* Передпосівна обробка насіння біополімерною композицією на основі крохмалю. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 5(2), 2026. 92-102 С. ISSN: 2720-6319 doi: 10.46299/j.isjea.20260502.09 https://isg-journal.com/isjea/article/view/1171

[3] ***Струмінська О.О.,*** *Байляк М.* Вплив біополімерної композиції на основі крохмалю на ріст та урожайність сільськогосподарських культур. Міжнародний чеський журнал “Věda a perspektivy”. 4(59), 2026. *368-380 С.* https://doi.org/10.52058/2695-1592-2026-4(59)-368-380

[4] **Струмінська, О. О**., Байляк, М. М., & Курта, С. А. Microbiological properties of natural film–forming materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, *2*(10(68). 2014. 34–40. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22007

ВЕНГЕР Л.О.[1,2], БЄЛОКОНЬ К.В.[2], ДЯЧОК В.В.[1], МАХАНЬКО Р.О.[2] (УКРАЇНА, ЛЬВІВ, ЗАПОРІЖЖЯ)

ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

[1]Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вулиця Степана Бандери 12, Львів, Україна; ljuvenger77@gmail.com
[2]Запорізький національний університет; kv.belokon@gmail.com

Abstract. The metallurgical industry is one of the most energy-intensive sectors, in which a significant portion of energy is lost through exhaust gases, heated process materials, cooling water, and other streams. The high temperature of the gases generated during blast furnace, steelmaking, and rolling processes creates significant potential for their use as secondary energy resources (SERs). The rational use of such resources makes it possible to simultaneously reduce primary fuel consumption, improve the energy efficiency of production, and minimize the negative impact of industrial enterprises on the environment.

Вторинні енергетичні ресурси являють собою енергетичний потенціал побічних продуктів і відхідних потоків виробничих процесів, який може бути повторно використаний безпосередньо на підприємстві або після відповідної технологічної підготовки. Для металургійного комплексу особливе значення мають теплота відхідних газів, горючі доменний, коксовий і конвертерний гази, теплота гарячого металу та шлаку, а також теплота технологічної охолоджувальної води.

Одним із найбільш значущих видів ВЕР є теплота відхідних газів. У металургійних печах та інших тепло-технологічних агрегатах гази залишають робочу зону при високій температурі, внаслідок чого в них зберігається значна кількість енергії. Традиційне відведення таких газів без попередньої утилізації призводить до втрати частини теплового потенціалу та збільшення питомих витрат палива.

Для використання теплоти відхідних газів застосовують рекуператори, регенератори, котли-утилізатори та інші теплообмінні установки. Загальна кількість теплоти, яку можна утилізувати, визначається залежно від масової витрати газу, його теплоємності та різниці температур до і після утилізатора:

$$Q_{\text{ут}} = m \cdot C_p \cdot \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{вих}}}$$

де (m) – масова витрата газів, кг/с; (c_p) – питома теплоємність газів, кДж/(кг·°С); ($T_г$) – температура газів на вході в утилізатор, °С; ($T_{вих}$) – температура газів після утилізації, °С.

Практичне значення такого підходу полягає у можливості перетворення теплових втрат на корисний енергетичний ресурс. Наприклад, у розрахунковому прикладі лабораторної роботи для потоку відхідних газів температурою 300 °С після охолодження до 150 °С теплова потужність утилізації становить близько 569 кВт. Це дозволяє оцінити потенціал заміщення частини первинного палива за рахунок використання теплоти відхідних газів.

Іншим важливим видом ВЕР є горючі металургійні гази. До них належать доменний, коксовий та конвертерний гази. Їх повторне використання як палива дозволяє частково або повністю замінювати природний газ на окремих технологічних ділянках. Горючі гази можуть використовуватися для нагрівання металу, вироблення пари, генерації електроенергії або комбінованого виробництва теплової та електричної енергії.

Особливо перспективним є комплексне використання газових потоків у межах металургійного підприємства. У такому випадку газ, що утворюється в одному технологічному процесі, розглядається не як відхід, а як вторинне паливо для іншого процесу. Це відповідає принципам циркулярного використання ресурсів та сприяє зниженню залежності підприємства від зовнішніх енергетичних ресурсів.

Значний потенціал має також теплота фізичного нагріву гарячого металу та шлаку. Під час виробництва чавуну і сталі утворюються високотемпературні матеріальні потоки, які можуть бути джерелом теплової енергії. Використання цієї теплоти потребує спеціальних теплообмінних систем, оскільки технологічні умови характеризуються високими температурами, запиленістю та складністю забезпечення стабільного теплопередавання.

Одним із найбільш поширених напрямів утилізації теплової енергії є рекуперація. Рекуператор забезпечує передачу теплоти від гарячого відхідного газу до повітря або іншого теплоносія без

безпосереднього змішування потоків. Попередньо нагріте повітря може повертатися до технологічної печі, що зменшує потребу в додатковому паливі.

Іншим напрямом є застосування котлів-утилізаторів, за допомогою яких теплота газів перетворюється на пару. Отримана пара може використовуватися для технологічних потреб підприємства або для виробництва електроенергії. Таким чином, один і той самий енергетичний потік може забезпечувати декілька корисних функцій.

Важливим показником ефективності утилізації є економія палива. Вона залежить від кількості отриманої корисної теплоти, теплоти згоряння палива та коефіцієнта корисного використання його енергії.

Використання ВЕР має не тільки економічне, а й суттєве екологічне значення. Скорочення споживання первинного палива безпосередньо пов'язане зі зменшенням викидів парникових газів. Крім того, зниження паливоспоживання може сприяти зменшенню обсягів утворення продуктів згоряння, зокрема оксидів азоту та інших забруднювальних речовин.

У наведеному розрахунковому прикладі економія природного газу оцінюється також з точки зору скорочення викидів CO_2. За прийнятим коефіцієнтом 2 кг CO_2 на 1 м³ природного газу скорочення викидів становить приблизно 3,2 т CO_2 на добу.

Таким чином, утилізація ВЕР може розглядатися як один із практичних заходів декарбонізації металургійної промисловості. Особливо актуальним це є в умовах необхідності одночасного підвищення конкурентоспроможності підприємств, скорочення енерговитрат та зменшення техногенного навантаження на довкілля.

Подальше підвищення ефективності використання ВЕР металургійних підприємств пов'язане з переходом від окремих утилізаційних установок до інтегрованих енергетичних систем. Такі системи повинні забезпечувати узгоджене використання теплових, газових та інших вторинних ресурсів між різними технологічними процесами.

Перспективним напрямом є цифровізація управління енергетичними потоками. Використання автоматизованих систем моніторингу дозволяє в режимі реального часу контролювати температуру, витрату та склад газових потоків, визначати величину теплових втрат і оперативно регулювати роботу утилізаційного обладнання.

Важливим напрямом є також створення систем комплексної утилізації. Наприклад, теплота відхідних газів може використовуватися для вироблення пари, пара – для генерації електроенергії, а горючі гази – як паливо для нагрівальних агрегатів. Поєднання таких технологій дозволяє максимально використовувати енергетичний потенціал побічних потоків.

Для сучасної металургії перспективним є поєднання технологій використання ВЕР із заходами декарбонізації, енергоменеджменту та ресурсозбереження. Це дає можливість перейти від моделі, за якої енергетичні втрати сприймаються як неминучий наслідок виробництва, до моделі, у якій побічні енергетичні потоки розглядаються як цінний ресурс.

Металургійне виробництво має значний потенціал вторинних енергетичних ресурсів, серед яких особливе місце посідають теплота відхідних газів, горючі технологічні гази та теплота високотемпературних матеріальних потоків. Їх повторне використання є важливим напрямом підвищення енергоефективності та ресурсозбереження.

Застосування рекуператорів, котлів-утилізаторів, теплообмінників та систем повторного використання горючих газів дозволяє зменшувати споживання первинного палива. При цьому економічний ефект поєднується з екологічним: скорочуються викиди CO_2 та інше техногенне навантаження на навколишнє середовище. Це дозволяє отримати суттєву економію природного газу за рахунок утилізації теплоти відхідних газів.

Перспективи розвитку пов'язані з інтеграцією різних видів ВЕР, автоматизацією контролю енергетичних потоків та впровадженням комплексних систем рекуперації. Отже, ефективне використання вторинних енергетичних ресурсів є одним із ключових напрямів екологічної модернізації металургійного виробництва, підвищення його економічної ефективності та забезпечення техногенної й екологічної безпеки.

ШЕПЕТА К.О., ІЗМОДЕНОВА Т.І., ВАКАЛ В.С. (УКРАЇНА, СУМИ)

МОНІТОРИНГ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМЕРЦІЙНИХ ПОСІВІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОСЛИН ФОСФОРОМ

Сумський державний університет
40007, вул. Харківська, 116, Суми, Україна; vsvakal@gmail.com

Abstract. The study of the actual phosphorus supply of winter wheat plants was carried out using modern soil cultivation technologies and the use of mineral and organomineral fertilizers. Observational methods were combined with leaf diagnostics (to determine the nutrient content of plants) and yield measurements of winter wheat on typical chernozems with low humus content. Regression analysis was used to determine the optimal phosphorus content in winter wheat plants. This approach to monitoring plant nutrient status may be useful for assessing the commercial and environmental effectiveness of fertilization systems using current and emerging mineral and organomineral fertilizers.

Збалансоване живлення рослин має ключове значення для формування їх продуктивності. Від оптимального вмісту елементів живлення в рослинах залежить інтенсивність їх росту і розвитку. За рівнем вагомості факторів і ресурсів у життєдіяльності рослин, вплив поживних речовин поступається лише гідротермічним умовам вегетації [1, 2, 3]. Дослідженнями методом спостережень в поєднанні з листовою діагностикою (на вміст елементів живлення в рослинах) та обліку урожайності озимої пшениці на чорноземах типових малогумусних в умовах північного сходу України (Сумська область) виявлено, що в залежності від року дослідження тільки (9,01–13,64) % обстежених площ озимої пшениці мали оптимальні показники вмісту фосфору. На решті (86,36–90,99) % комерційних посівів спостерігали його дефіцит.

При обробці отриманих даних методом регресійного аналізу визначено оптимальний вміст фосфору в рослинах озимої пшениці. В залежності від гідротермічних умов вегетації оптимальне значення варіювало від (0,25 ± 0,2) % до (0,27 ± 0,2) % по сухій речовині.

Продуктивність озимої пшениці при оптимальному вмісті фосфору і відсутності дефіциту на азот і калій в роки дослідження за розробленою математичною моделлю в 2021 році склала б (65,31 ± 1,49) ц/га, в 2022 році – (67,66 ± 1,07) ц/га. При цьому, фактична урожайність бездефіцитних на фосфор рослин озимої пшениці в 2021 році варіювала від 65,03 ц/га до 69,73 ц/га, в 2022 році – від 66,34 ц/га до 68,05 ц/га.

Рівні недоотриманої продуктивності внаслідок дефіциту фосфору становили в умовах посушливого 2021 року становили (1,77–8,85) ц/га ($x_{сер.}$= (5,31 ± 3,54) ц/га), вологозабезпеченого 2022 року – (4,72–11,80) ц/га ($x_{сер.}$ = (8,26 ± 3,54) ц/га). Відносне зниження урожайності від дефіциту фосфору сягало від (8,1 ± 5,4) % до (12,2 ± 5,2) %.

Наші розрахунки свідчать, що основні масиви площ озимої пшениці відчували дефіцит у вазі фосфору (P_2O_5) в 2021 році на рівні (4,02–25,20) кг/га ($x_{сер.}$ = (14,61 ± 10,59) кг/га), в 2022 році – (11,47–27,58) кг/га ($x_{сер.}$ = (19,53 ± 8,06) кг/га).

За результатами статистичної обробки даних, для формування високопродуктивних посівів озимої пшениці кількість фосфору, засвоєного рослинами на центнер зерна, залежно від умов вегетації, має становити від (1,03 ± 0,11) кг P_2O_5/ц до (1,24 ± 0,11) кг P_2O_5/ц.

Отримані результати досліджень щодо оцінки рівнів зниження урожайності озимої пшениці в комерційних посівах внаслідок дефіциту фосфору в рослинах переконливо свідчать про доцільність проведення економічно обґрунтованого удосконалення систем удобрення культури шляхом корегування кількості внесення та комбінування використання мінеральних і органо-мінеральних фосфоровмісних добрив.

Список літератури:

[1] Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003 (Text with EEA relevance) URL:

[2] Brady, N. C. and R. R. Weil. 2002. The nature and properties of soils, 13th edition, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

[3] Stewart, W. M., D. W. Dibb, A. E. Johnston, and T. J. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agron. J. 97: 1–6 p.

[4] International Fertilizer Industry Association (IFA). 1992. World fertilizer use manual. Paris. 632 pp.

TKACHENKO T.[1], HAIDAI O.[1], KAMENSKYH D.[1,2], PERTKO O.[1],
YEVDOKYMENKO V.[1] (UKRAINE, KYIV)

EFFECT OF HEMP AGE ON THE CHARACTERISTICS OF CELLULOSIC MATERIAL

[1]V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the NAS of Ukraine, 1, Academician Kukhar Str, Kyiv, 02094, Ukraine
[2]V. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine, 2, Avtozavids'ka Str., Kyiv, 04074, Ukraine; ttv13ttv@gmail.com

Abstract. Hemp fibre of the Glena variety was evaluated as a renewable feedstock for high-purity cellulose. MCC and FC were produced using organosolv and alkaline pulping methods. The obtained materials exhibited cellulose contents of 99.2–99.9%. XRD, FTIR, TGA, and adsorption analyses confirmed their characteristic properties. Green hemp fibre demonstrated the highest potential for pure cellulose production.

Air-dried technical hemp fibre of the Glena variety from the 2023 and 2025 harvests, at different ages, grown in the Chernihiv region, was investigated as the starting raw material. The material was provided as fibre (500–700 mm). The content of the main components in the starting raw material and in the resulting cellulose products was determined using standard chemical analysis described previously [1]. All chemical analyses were performed in duplicate, allowing the calculation of average values and standard deviations, which did not exceed 5%. The composition of the starting raw material is given in Table 1.

Table 1

Composition of hemp fiber of different ages, wt % o.d.r.

	Green	1–2-year-old
Cellulose	82.3	85.8
Hemicellulose	7.8	5.4
Water-soluble substances	5.3	5.0
Klason lignin	2.1	2.9
Pitches and fats	0.8	0.8
Ash	1.5	2.2
Other	0.2	0.1

Microcrystaline cellulose (MCC) from hemp fibre (Table 2) was obtained by the organosolv pulping method [1]. Fibrous cellulose (FC) was obtained by classical alkaline pulping. The main physicochemical characteristics of the resulting cellulosic materials were investigated using modern physicochemical methods. The XRD method confirmed that MCC from green hemp fiber has a more ordered crystalline structure with a crystallinity index (CI) of 0.79 compared to 0.84 for MCC from 1–2-year-old fiber, respectively, which corresponds to the values for industrial MCC [2, 3]. The FTIR spectra of the samples demonstrate typical functional groups corresponding to cellulosic products [3]. The thermograms (TGA) show two distinct mass loss regions, with peaks characteristic of similar industrial samples. The obtained low-temperature nitrogen adsorption-desorption isotherms confirm the non-porous structure of the cellulosic samples [4]. Thus, it was established that purer cellulosic materials can be obtained from green hemp fibre.

Table 2

The main characteristics of the obtained cellulosic materials

	Cellulose yield (Y), %mass.	Ash, %mass.	Cellulose, %mass.	Klason lignin, %mass.	CI, %	DP
MCC from green hemp fiber	90.0	0.2	99.2	0.8	0.84	160
MCC from 1–2-year-old fiber	83.2	0.6	99.5	0.5	0.80	180
FC from green hemp fiber	91.5	0.3	99.9	0.1	-	-
FC from 1–2-year-old fiber	88.6	1.4	99.0	1.0	-	-

References:

1. Tkachenko T., Sheludko Ye., Yevdokymenko V., Kamenskyh D., Khimach N., Povazhny V., Filonenko M., Aksylenko M., Kashkovsky V. Physico-chemical properties of microcrystalline cellulose from flax. Applied Nanoscience. 2022. 12 (4). 1007-1020.
2. Herawan T, Panjaitan FR, Yamanaka S Morphological and Structural Changes in Microcrystalline Cellulose from OPEFB by Mechanical Grinding. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 166: 012001.
3. Hu H, Zhang Y, Liu X, Huang Z, Chen Y, Yang M, Qin X, Feng Z. Structural changes and enhanced accessibility of natural cellulose pretreated by mechanical activation. Polym. Bull. 2014. 71: 453-464.
4. MICROCEL® MC-101 Microcrystalline Cellulose. https://www.roquette.com/innovation-hub/pharma/product-profile-pages/microcel-mc101-microcrystalline-cellulose.

САМОХІН Є.І., ШЕВЧЕНКО Т.О. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
61002, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна; Yevhenii.Samokhin@kname.edu.ua

Abstract This paper examines modern approaches to the dewatering of sludge generated during domestic wastewater treatment. The study is driven by the need to improve sludge management efficiency, reduce transportation and subsequent processing costs, and minimize negative environmental impacts. The key technological stages of sludge preparation for dewatering and the factors determining moisture removal efficiency are analyzed. Particular attention is paid to mechanical dewatering methods, which enable continuous sludge processing and preparation for subsequent use or disposal. The importance of preliminary sludge conditioning for enhancing solid-liquid phase separation is discussed. Key requirements for modern dewatering equipment – such as reliability, operational flexibility, cost-effectiveness, and automation capabilities – are identified. The potential for advancing dewatering technologies as part of a comprehensive and environmentally safe approach to domestic wastewater sludge management is substantiated.

Під час очищення комунальних стічних вод утворюється осад, поводження з яким є важливим елементом сучасних систем водовідведення. Накопичення осаду потребує значних площ для його зберігання, ускладнює експлуатацію очисних споруд і може створювати додаткове навантаження на довкілля. Це питання набуває особливої актуальності з огляду на необхідність підвищення ресурсоефективності та переходу до більш екологічних технологій поводження з відходами.

Зневоднення є ключовим етапом підготовки осаду до подальшого використання, переробки або утилізації. Видалення значної частини вільної та зв’язаної води покращує технологічні властивості осаду, спрощує його транспортування, знижує витрати на подальшу обробку та відкриває можливості для застосування технологій утилізації. Ефективність зневоднення значною мірою залежить від властивостей осаду, характеру зв’язку вологи з твердою фазою та робочих параметрів обладнання.

Застосування сучасних методів механічного зневоднення є перспективним підходом, що дозволяє здійснювати безперервну обробку осаду та забезпечувати стабільність технологічного процесу. Водночас вибір оптимальних режимів роботи обладнання вимагає врахування характеристик вихідного осаду, методів попередньої підготовки (кондиціювання) та вимог до кінцевого продукту.

Отже, вдосконалення технологічних рішень для зневоднення осаду комунальних стічних вод є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності роботи очисних споруд, зниження витрат на поводження з осадом і створення умов для його подальшого раціонального використання або безпечного видалення.

Метою нашої роботи було експериментальне обґрунтування ефективності використання роликового зневоднювача для обробки суміші сирого осаду та надлишкового активного мулу із застосуванням різних флокулянтів [1].

Експериментальні дослідження проводилися з використанням осаду, отриманого на діючих очисних спорудах стічних вод в одному з обласних центрів України. Досліджуваний матеріал являв собою суміш сирого осаду та надлишкового активного мулу. Початкова вологість осаду становила 97,26–97,5%, а обсяг його утворення – 2500 кг сухої речовини на добу.

Для механічного зневоднення використовували роликовий зневоднювач моделі XJD-1500 виробництва компанії ESMIL. Особливістю цієї установки є поєднання процесів гравітаційного згущення, фільтрації та зневоднення під тиском (пресування) в одному агрегаті. Флокульований осад послідовно проходить через зони згущення та зневоднення, де вода поступово видаляється під дією гравітації та механічного стиснення.

Для інтенсифікації процесу досліджували два катіонні полімерні флокулянти: Kemira Superfloc C-496 та Praestol 859BC. Робочі розчини флокулянтів із концентрацією 0,3% готували безпосередньо перед проведенням експериментів. Ефективність оцінювали за такими показниками: вологість отриманого осаду (кеку), продуктивність зневоднювальної установки (за вихідним мулом і сухою речовиною), концентрація твердих частинок у фільтраті та витрата флокулянту.

Результати досліджень. Експерименти продемонстрували високу ефективність ролерного зневоднювача XJD-1500 при зневодненні суміші сирого мулу та надлишкового активного мулу. Вологість вихідного мулу, що спочатку становила 97,26–97,5%, після зневоднення знизилася до 84,67–87,12%. Мінімальна вологість отриманого осаду склала 84,67%, що свідчить про суттєве зменшення вмісту води в мулі.

Для флокулянту Kemira Superfloc C-496 випробовували дозування в діапазоні від 8,07 до 10,1 кг на тонну сухої речовини. Продуктивність зневоднювача становила 13,2–15,59 $м^3$/год за вихідним мулом і 266,5–420,93 кг сухої речовини/год. Для флокулянту Praestol 859BC при дозуванні 10,46 кг на тонну сухої речовини продуктивність становила 10,6 $м^3$/год за вихідним мулом і 290,44 кг сухої речовини/год. Встановлено, що використання Kemira Superfloc C-496 у дозі 9,48 кг/т сухої речовини забезпечило зниження вологості мулу приблизно на 12,7%. Аналогічний результат отримано з Praestol 859BC при дозуванні 10,46 кг/т сухої речовини – зниження вологості приблизно на 12,59%.

Отже, для досягнення порівнянного ступеня зневоднення за допомогою Praestol 859BC знадобилося дозування реагенту, що було приблизно на 10,65% вищим. Аналіз взаємозв'язку між продуктивністю установки зневоднення, вмістом сухої речовини в кеку та дозуванням флокулянту показав, що збільшення дози реагенту не завжди призводить до одночасного покращення всіх технологічних показників. У випадку використання флокулянту Kemira Superfloc C-496 підвищення дозування з 8,07 до 9,48 кг/т сухої речовини сприяло зростанню продуктивності установки за сухою речовиною. Подальше збільшення дози до 9,74–10,1 кг/т сухої речовини дозволило підвищити концентрацію сухої речовини в кеку, зберігаючи при цьому достатньо високу продуктивність.

На основі отриманих результатів найбільш раціональним визнано використання Kemira Superfloc C-496 у дозуванні приблизно 9,7 кг/т сухої речовини, оскільки це забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю установки та ступенем зневоднення осаду. Загалом, середній рекомендований рівень споживання флокулянту для досліджуваної суміші осадів становить 8,0–10,0 кг порошку на 1000 кг сухої речовини.

Аналіз характеристик осаду також виявив вміст летких речовин на рівні 78,63%. Осад містить значну кількість піску, а також мінеральні та волокнисті включення. Наявність таких компонентів може посилювати абразивний знос обладнання. Ролерний зневоднювач типу XJD розрахований на роботу з такими складними видами осадів, що є додатковою перевагою його використання.

Висновки. Експериментальні дослідження підтвердили доцільність використання ролерного зневоднювача XJD для механічного зневоднення суміші сирого осаду та надлишкового активного мулу. Застосування цієї установки дозволяє знизити вологість осаду з 97,26–97,5 % до 84,75–87,12 % і зменшити в середньому в 5–6 разів масу осаду, що потребує подальшого поводження. Серед випробуваних реагентів найефективнішим виявився флокулянт Kemira Superfloc C-496. Оптимальна доза становить приблизно 9,7 кг на тонну сухої речовини, а рекомендований діапазон загального дозування для досліджуваної суміші – 8,0–10,0 кг/т сухої речовини. Отримані результати демонструють потенціал ролерних зневоднювачів як ефективного технологічного рішення для зневоднення осаду комунальних стічних вод і подальшого зниження витрат, пов'язаних із його транспортуванням, утилізацією або остаточним видаленням.

Список літератури:

3. Шевченко Т.О., Самохін Є.І. Дослідження ефективності роботи ролерного дегідратора для зневоднення осадів побутових стічних вод. Науковий вісник будівництва. Т. 1, № 114. 2026. С. 279-286.

МИКИЦЕЙ М.Т. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ РАНЖУВАННЯ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ХІМІЧНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ВОДОЗБОРІВ: МЕТОДОЛОГІЯ MCDA–PAPRIKA

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, mmtecoif@gmail.com

Abstract. The development of effective bioremediation technologies for hydrologically sensitive areas of watersheds requires a scientifically sound selection of natural materials. In this study, the MCDA-PAPRIKA method (1000minds) was applied to develop a comprehensive hierarchy of remediation materials.

Основні положення та результати. Узагальнення літературних джерел засвідчує, що жоден окремий природний компонент не здатен забезпечити повний спектр функцій, необхідних для ефективної детоксикації ґрунтів на гідрологічно-чутливих водозборах, через що сучасна ремедіація вимагає багатофункціональних систем, які успішно поєднують сорбційні, біологічні, хімічні та гідроекологічні механізми. Багатокритеріальний аналіз (MCDA) зарекомендував себе як дієвий інструмент у вирішенні складних екологічних і технологічних завдань, зокрема під час проєктування безпечних матеріалів шляхом поєднання екологічних, токсикологічних та економічних чинників. Своєю чергою, у межах водозбірних басейнів методологія MCDA забезпечує комплексне оцінювання ризиків забруднення через інтеграцію фізико-хімічних властивостей середовища та антропогенного навантаження.

З метою систематизації існуючих рішень було проаналізовано 20 репрезентативних інгредієнтів, об'єднаних, що включають біовуглецеві матеріали, мінеральні сорбенти, біоорганічні субстрати, живі біологічні системи (фітосистеми, мікоризу, мікробіоти), а також функціональні органічні екстракти й біополімерні модифікатори. Було розроблено комплексну систему з 15 критеріїв, зведених у п'ять функціональних блоків: ремедіаційна ефективність, екосистемні функції, екологічна безпечність і довготривала стабільність, практична придатність та інтеграційний потенціал. Замість абсолютних фізико-хімічних показників, які складно порівнювати між різними класами речовин через відмінності у методиках, кожен критерій було переведено в уніфіковану порядкову шкалу, сформовану на основі даних наукових джерел.

Ранговий кореляційний аналіз Спірмена підтвердив відсутність критичної мультиколінеарності (більшість коефіцієнтів не перевищували $|\rho| = 0{,}40$), що вказує на комплементарність і незалежність використаних критеріїв. Застосування математичного методу MCDA-PAPRIKA (1000minds) дозволило визначити відносну вагу кожного критерію та сформувати інтегральний рейтинг матеріалів. Найвищу вагу отримав критерій екотоксикологічного ризику (11,7%), за яким слідують водоутримувальна здатність, екосистемна сумісність і комбінованість із іншими компонентами (по 9,7%), а також сорбційна іммобілізація, афінність до полютантів (по 7,7%) і контрольоване вивільнення активних речовин (7,3%). За сукупністю всіх критеріїв лідерами інтегрального рейтингу стали концентрати гумусових речовин (84,8%), вермикомпост (80,0%), мікоризні гриби (78,3%), карбонатні матеріали та біочар (по 78,2%). На основі виявленого синергетичного потенціалу пріоритетних інгредієнтів запропоновано для подальших детальних експериментальних випробувань чотирикомпонентну формуляцію ремедіаційного субстрату у складі дрібнофракційної деревної тирси, карбонату кальцію, екстракту гумусових речовин та рослинного таніну.

Висновки. Застосування методу MCDA-PAPRIKA забезпечує об'єктивне ранжування природних матеріалів для біоремедіації хімічно забруднених ґрунтів у межах водозборів. Отримані результати формують методологічне підґрунтя для наступного етапу досліджень.

Список літератури:

1. 1000minds. (2024). PAPRIKA method: Potentially all pairwise rankings of all possible alternatives. 1000minds. https://www.1000minds.com/paprika
2. Dias, L. C., Caldeira, C., & Sala, S. (2024). Multiple criteria decision analysis to support the design of safe and sustainable chemicals and materials. *Science of The Total Environment*, *916*, 169599. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169599
3. Akdogan, Z., & Guven, B. (2023). Multi-criteria decision analysis in assessing watershed scale pollution risk: A review of combined approaches and applications. *Environmental Reviews*, *31*(4), 669-689. https://doi.org/10.1139/er-2023-0017

КОВРОВ О.С., ТУР В.М. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ФІТОБРИКЕТИ З СТАБІЛІЗОВАНИМ БІООСАДОМ СТІЧНИХ ВОД ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОГЕННО ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, просп. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна; Tur.Vo.M@nmu.one

Abstract. The study substantiates a resource-efficient approach to producing phytobriquettes from stabilized wastewater biosolids combined with seeds of remediation plants. The production sequence included homogenization of the biosolid-based matrix, extrusion, briquette formation, seed placement, and controlled germination. Calamagrostis epigejos, Amaranthus spp., Hordeum murinum L., and Panicum miliaceum L. were tested individually and in mixed seed combinations. Visual observations confirmed that the briquettes retained their shape during moistening and supported germination and early plant development. The approach combines biosolid recycling with assisted revegetation of technogenically degraded lands.

Накопичення осадів стічних вод і одночасне поширення техногенно деградованих земель потребують технологій, що поєднують безпечне повернення органічної речовини у природний цикл із прискореним формуванням рослинного покриву. Стабілізований біоосад є джерелом органічного вуглецю та елементів живлення, однак його безпосереднє внесення у ґрунт ускладнює рівномірне дозування і локалізацію насіння. Формування біоосаду у вигляді фітобрикетів дає змогу створити компактний носій, який одночасно виконує функції субстрату, стартового живильного середовища та засобу цільового висіву.

Доцільність такого підходу підтверджується результатами попередніх досліджень. Застосування муніципальних біоосадів у комплексі з іншими залишковими матеріалами забезпечило відновлення рослинного покриву на металовмісних гірничих відходах (Brown et al., 2003). Внесення біоосаду до мідних хвостів підвищувало продуктивність *Lolium perenne* і створювало передумови для фітостабілізації (Santibáñez et al., 2008), а його використання як органічної добавки посилювало ріст рослин та фіторемедіацію нафтово-забрудненого ґрунту (Markway et al., 2008). Водночас практичне використання біоосадів має передбачати контроль патогенів, вмісту важких металів та органічних мікрозабруднювачів.

Мета роботи - обґрунтувати технологічну можливість виготовлення фітобрикетів на основі стабілізованого біоосаду стічних вод і попередньо оцінити їхню придатність як стартового субстрату для проростання рослин, перспективних для відновлення техногенно деградованих земель.

Для виготовлення фітобрикетів попередньо стабілізовану й зневоднену біоосадну композицію гомогенізували до пластичної консистенції. Формування здійснювали екструзією крізь шнековий пристрій, після чого одержані циліндричні заготовки порціонували, укладали у лотки та підсушували. На поверхні сформованих брикетів розміщували насіння рослин окремо та у змішаних комбінаціях. Для лабораторного пророщування використано куничник наземний *Calamagrostis epigejos*, амарант *Amaranthus* spp., ячмінь мишачий *Hordeum murinum* L. і просо посівне *Panicum miliaceum* L. Стан фітобрикетів та розвиток проростків оцінювали візуально за збереженням форми, появою сходів і формуванням надземної маси.

Одержані заготовки після підсушування зберігали цілісність і були придатними для розміщення у стандартних лотках. Після зволоження спостерігали проростання досліджених видів як у моновидових варіантах, так і в комбінаціях *C. epigejos* + *H. murinum* та *Amaranthus* spp. + *P. miliaceum*. Найінтенсивніше початкове формування надземної маси візуально відзначено у варіантах із злаковими рослинами; амарант формував окремі життєздатні сходи. Отже, біоосадна матриця не перешкоджала проростанню насіння і підтримувала ранній розвиток рослин.

Візуально куничник наземний сформував найщільніший рослинний покрив і найбільшу надземну масу серед випробуваних варіантів. Завдяки інтенсивному кущенню, розвиненій кореневій системі та пристосованості до порушених місцезростань цей дикорослий злак перспективний для закріплення деградованих земель, протиерозійного захисту та фіторемедіації. Амарант утворив життєздатні сходи, що підтверджує можливість використання цієї доступної культури у біоосадних композиціях. На безпечних субстратах він може забезпечувати отримання багатої на рослинний білок біомаси; на забруднених землях її використання потребує контролю накопичення токсикантів.



Рис. 1. Виготовлення та випробування фітобрикетів: а – насіння *C. epigejos*; б – екструзія композитного матеріалу; в – напівпродукт матеріалу з біоосадом та насінням; г – сформовані фітобрикети з насінням у моновидових і змішаних варіантах; д – розвиток рослин на фітобрикетах

Просо посівне також проростало у комбінованих фітобрикетах і швидко формувало первинний рослинний покрив. Завдяки короткому вегетаційному періоду та посухостійкості його доцільно застосовувати для озеленення, а на безпечних ділянках - для отримання кормової або енергетичної біомаси.

Запропонований спосіб перетворює стабілізований біоосад на керований біокомпозиційний матеріал для локального озеленення порушених субстратів. Подальші дослідження мають передбачати оптимізацію рецептури й геометрії брикетів, визначення схожості, довжини коренів і приросту біомаси, оцінювання міграції забруднювачів, а також випробування на модельних техногенних ґрунтах. Практичне застосування можливе лише для біоосаду, що відповідає санітарним та екологічним нормативам.

Список літератури:

1. Brown, S. L., Henry, C. L., Chaney, R., Compton, H., & DeVolder, P. S. (2003). Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining areas. Plant and Soil, 249, 203-215. https://doi.org/10.1023/A:1022558013310

2. Markway, H. N., Wolf, D. C., Davis, K. J., & Gbur, E. E. (2008). Using biosolids to enhance phytoremediation of oil-contaminated soil. Discovery, 9(1), 50-56. https://doi.org/10.54119/discovery.wzol1578

3. Santibáñez, C., Verdugo, C., & Ginocchio, R. (2008). Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of Lolium perenne. Science of the Total Environment, 395(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.033

ZHUKOVA V., SABLII L., KOZAR M. (UKRAINE, KYIV)

RESOURCE AND ENVIRONMENTAL POTENTIAL FOR INTENSIFYING BIOLOGICAL NITROGEN REMOVAL PROCESSES IN WASTEWATER TREATMENT

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", zhukova.veronika@edu.kpi.ua

Abstract. Microorganisms immobilization is an effective approach for intensifying nitrogen compound removal in biotechnological processes. The study aimed to experimentally evaluate, using a model setup, the efficiency of ammonium nitrogen and nitrate removal during the biological treatment of municipal wastewater under anoxic and aerobic conditions, employing various types of carriers for microorganisms immobilization. Process intensification is achieved through the metabolic activity of microorganisms, enabling thorough and environmentally safe nitrogen compound removal without generating secondary pollution, with removal efficiencies reaching up to 86% for ammonium nitrogen and up to 69% for nitrates.

Excessive levels of nitrogen compounds in the environment have serious negative consequences. In particular, they lead to the eutrophication of water bodies, a reduction in dissolved oxygen concentrations, and mass mortality among fish and other aquatic organisms. Furthermore, nitrate contamination of groundwater poses a threat to human health; specifically, ingestion can cause methemoglobinemia in infants. Unlike physicochemical wastewater treatment methods, which require significant amounts of reagents and generate additional waste, biological processes rely on the metabolic reactions of microorganisms. In the technology employing the modified Ludzack-Ettinger (MLE) process, wastewater first enters an anoxic zone, where nitrates are reduced to nitrogen gas using the organic compounds present in the wastewater. The water then flows into an aerobic zone, where ammonium nitrogen undergoes nitrification to form nitrates. A portion of the nitrates from the aeration zone is recirculated to the anoxic zone, thereby facilitating the denitrification process. The primary advantages of this technology are its high efficiency in removing total nitrogen from wastewater, up to 85%, as well as its relative simplicity and reliability. The use of internal recirculation enhances the efficiency of nitrogen compound removal without requiring substantial additional energy or reagents.

Microorganisms immobilization is an effective approach for intensifying nitrogen removal processes in MLE-based technologies. The use of plastic carriers enables the concentration of microorganisms on their surfaces to form stable biofilms, thereby significantly increasing the density of active biomass within the bioreactor volume, whether in the nitrification or denitrification stage. Consequently, nitrification and denitrification proceed more intensively, occurring faster and achieving higher nitrogen removal rates with reduced aeration air consumption, while the system becomes more resilient to fluctuations in loading and operating conditions.

The choice of carrier significantly influences biofilm development, the efficiency of nitrogen compound removal, and the overall economic performance of the technology. An optimal carrier should possess the following characteristics: a large active surface area for microorganisms immobilization; non-toxicity; water insolubility; resistance to chemical wastewater contaminants and microbial degradation; low mass; structural strength; ease of manufacturing (blocks, fragments, cassettes, etc.) and installation; operational convenience (ease of cleaning off accumulated matter, ease of installation and removal); low cost; and feasibility of disposal/recycling.

For many years, the team at the Department of Bioenergy, Bioinformatics, and Ecobiotechnology at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute has been conducting research and implementing findings aimed at improving biological wastewater treatment methods, specifically to enhance the removal of organic matter, nitrogen compounds, phosphorus, and other pollutants. This work involves the use of carriers for immobilized microorganisms and various process conditions: anaerobic, anoxic, and aerobic [1, 2]. This paper presents research results regarding processes utilizing new types of carriers and the modelling of treatment under anoxic and aerobic conditions, using synthetic solutions that replicate the composition of municipal wastewater.

The aim of the study was to determine the efficiency of ammonium nitrogen and nitrate removal during the biological treatment of municipal wastewater under anoxic and aerobic conditions, using various types of carriers for microorganisms immobilization in a pilot-scale experimental setup.

Three model solutions (MS), simulating wastewater, and an experimental bioreactor setup modelling the MLE process were used for the research. The anoxic bioreactor treated a mixture of raw wastewater and recirculated water returned from the aerobic stage, with the following initial parameters: MS1 – COD 1000 mg/dm³, nitrates 64 mg/dm³; MS2 – COD 600 mg/dm³, nitrates 40 mg/dm³; MS3 – COD 300 mg/dm³,

nitrates 16 mg/dm³. Wastewater from the anoxic bioreactor was fed into the aerobic bioreactor with the following parameters for the three variants: MS1a – COD 500 mg/dm³, ammonium nitrogen 80 mg/dm³; MS2a – COD 200 mg/dm³, ammonium nitrogen 50 mg/dm³; MS3a – COD 80 mg/dm³, ammonium nitrogen 20 mg/dm³.



Carrier «A» Carrier «B» Carrier «C»

Fig. 1. Photos of the carriers investigated for microorganisms immobilization

Three types of carriers with different designs for microorganisms immobilization shown in the figure were used in the study. Carrier "A" is made of polypropylene with a sheet thickness of 0.35 – 0.5 mm. Carrier "B" is made of polyvinyl chloride with a sheet thickness of 0.35 – 0.45 mm. Carrier "C" is made of polypropylene with a twisted steel wire base and fiber thickness of 0.3 – 0.4 mm.

The aerobic process of ammonium nitrogen oxidation involving nitrifying microorganisms proceeds in two stages: the formation of nitrites followed by the formation of nitrates. Only under anaerobic conditions, in the presence of a sufficient carbon source and involving denitrifying microorganisms, is nitrate reduced to molecular nitrogen; this nitrogen is released from the water into the gas phase, thereby reducing the content of nitrogen compounds in the water. Therefore, when modelling nitrogen compound transformation processes, it is necessary to account for the nitrate concentration during the recirculation of nitrate-containing wastewater from aerobic conditions (nitrification zone) to anoxic conditions (denitrification zone).

A comparison of the three carrier types for removing ammonium nitrogen from water under aerobic conditions showed similarly high purification results for the first two Carrier "A" (80 – 86%) and Carrier "B" (up to 80%) and slightly lower results for Carrier "C" (up to 75%), with a recommended process duration of 12 hours. This can be attributed to the lower efficiency of organic matter removal under anaerobic conditions when using Carrier "C," resulting in a higher COD (Chemical Oxygen Demand) at the inlet to the aerobic stage; this delays the onset of nitrification and ammonium nitrogen oxidation, thereby leading to higher residual ammonium nitrogen concentrations in the treated water for this carrier.

Following the nitrification process in the aerobic bioreactors, the treated solution containing nitrates was returned to the anaerobic bioreactor. It was established that under anaerobic conditions using carrier "B" – with nitrate concentrations of 64 – 16 mg/dm³ and COD of 1000 – 300 mg/dm³ (utilizing organic substances in a model solution as the carbon source) a decrease in nitrate concentration was observed as the treatment duration increased from 6 to 12 hours, resulting from the reduction of nitrates to gaseous nitrogen. Specifically, extending the process duration from 6 to 12 hours reduced the nitrate concentration from 40 to 15 mg/dm³ (a 62.5% reduction). At an optimal duration of 8 hours, the nitrate removal efficiency ranged from 53% to 69%, given an initial nitrate concentration of 64 – 16 mg/dm³.

Process intensification is achieved by utilizing the metabolic activity of microorganisms, which enables the thorough and environmentally safe removal of nitrogen compounds without generating secondary pollution, achieving removal efficiencies of up to 86% for ammonium nitrogen and up to 69% for nitrates.

References

1. Sablii L., Zhukova V., Hrynevych A. & Drewnowski J. (2026). Biofilm properties on carriers for wastewater treatment: Supporting green deal. Desalination and Water Treatment. Volume 325, Article 101608. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101608

2. Zhukova V.S., Sablii L.A. Use of carriers to enhance the efficiency of biological wastewater treatment / Innovative Materials and Technologies: Biotechnology, Applied Chemistry, Ecology: Collective Monograph. Vol. 1; Eds. O.R. Mokrousova, V.P. Plavan. Kyiv: KNUTD, 2025. – P. 146–150. ISBN 978-617-7763-57-3

МАЛЮШЕВСЬКА А.П., КУСКОВА Н.І. (УКРАЇНА, МИКОЛАЇВ)

ZERO WASTE, NANO GAIN: БЕЗВІДХІДНА ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ НАНОВУГЛЕЦЮ З ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України
54018, пр. Богоявленський, 43А, Миколаїв, Україна; ninutsa.1974@gmail.com

Abstract. An environmentally safe pulsed technology for processing carbon-containing industrial waste (organic solvents, paints and varnishes, PCBs, fluoroplastics) into nanosized carbon is proposed. The method combines high-voltage pulsed two-stage treatment of liquid waste (30–50 kV) and self-propagating high-temperature synthesis (SHS) of solid halogen-containing polymers, initiated by pulsed current. The technology ensures complete destruction of toxic organic compounds, binding of halogens into safe mineral salts ($CaCl_2$, $ZnCl_2$, NaF), and eliminates the formation of dioxins and furans. The yield of nanocarbon increases by 3–10 times compared to single-stage treatment, while CO_2 emissions are reduced by 40–60%.

Накопичення промислових вуглецевмісних відходів – органічних розчинників, лакофарбових матеріалів (ЛФМ), поліхлорованих біфенілів (ПХБ) та фторопластів створює довготривалу екологічну загрозу глобального масштабу. Згідно з даними Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі, понад 300 тис. тонн ПХБ уже перебувають у навколишньому середовищі, а ще близько 400 000 тонн – в експлуатації, що свідчить про масштабність проблеми.

Традиційні методи утилізації – термічне спалювання (300-800 °C) та захоронення на полігонах – є екологічно небезпечними через утворення високотоксичних побічних продуктів: діоксинів, фуранів, карбонілфториду, перфторизобутилену та фтористого водню. Особливо критичною є ситуація з галогеновмісними органічними відходами, спалювання яких у звичайних мусороспалювальних печах супроводжується емісією суперекотоксикантів, що не піддаються природній деградації протягом десятиліть.

Водночас ці відходи є цінним вторинним ресурсом: високий вміст вуглецю (до 70-90 мас. % у ПХБ, понад 50 мас. % у ЛФМ) робить їх потенційною сировиною для отримання нанорозмірного вуглецю – продукції з ринковою вартістю від 50 до 500 $/кг залежно від типу та чистоти. Це відкриває можливість переходу від моделі «відходи – проблема» до моделі «відходи – ресурс», що повністю узгоджується з принципами циркулярної економіки та Ціллю сталого розвитку ООН 12 за (Відповідальне споживання та виробництво) [1].

У роботі вперше запропоновано та експериментально обґрунтовано комбіновані екологічно безпечні імпульсні технології переробки вуглецевмісних відходів різного агрегатного стану, що базуються на двох взаємодоповнювальних фізико-хімічних підходах:

1. Високовольтна імпульсна двостадійна обробка рідких органічних відходів, яка включає деструкцію молекул у рідкій фазі та плазмову імпульсну обробку утворених газів;
2. Самопоширюваний високотемпературний синтез (СВС), ініційований імпульсним струмом, для твердих галогеновмісних полімерів (фторопласт) і ароматичних хлорпохідних (гексахлорбензол).

Новизна полягає не лише в комбінації методів, а й у розробці:

1. Оригінальної двокамерної установки безперервної дії (запатентовано в Україні);
2. Екзотермічних шихтових композицій для СВС-утилізації фторопластів із розрахованими термодинамічними параметрами (адіабатична температура горіння до 3200 К);
3. Механізмів зв'язування галогенів у безпечні сполуки (CaCl2, ZnCl2, NaF, AlF3), що унеможливлюють утворення токсичних органічних похідних.

Методика та ключові результати експериментів.

Високовольтна імпульсна двостадійна обробка рідких відходів. Розроблено експериментальний стенд із двома послідовними розрядними камерами. Ефективна за виходом нановуглецю обробка здійснюється при напрузі 30–50 кВ, частоті імпульсів 4–25 Гц, енергії в імпульсі 0,05–0,2 кДж. Як модельні об'єкти використано: відпрацьовані органічні розчинники (спирти, керосин, бензол, циклогексан); суспензії емалі ПФ-115 у уайт-спіриті (Т:Р = 3:1); суспензії ДДТ (дусту) у циклогексаноні / етанолі (Т:Р = 1:20). Двостадійна схема забезпечує зростання виходу нанорозмірного вуглецю та водню в 3-10 разів порівняно з одностадійною обробкою. Повне диспергування твердої фази ЛФМ досягається після 20 000 імпульсів. Рентгенофазовий аналіз продуктів засвідчив утворення різних форм нанорозмірного вуглецю [2].

СВС-переробка твердих відходів. Для ПХБ запропоновано додаткове хімічне зв'язування хлору з $CaCO_3$ або Zn, що дозволяє перевести галоген у водорозчинні нетоксичні хлориди, а вуглець – у

нанорозмірні структури. Для політетрафторетилену $(C_2F_4)_n$ та гексахлорбензолу (C_6Cl_6) розроблено ефективний склад шихти з відновниками (Al, NaN_3 та CaH_2). Термодинамічний аналіз (розрахунки ΔH, ΔS, ΔG, адиабатичної температури) підтвердив самодостатність процесів високотемпературного синтезу в розроблених шихтах. Ініціювання СВС імпульсним розрядом забезпечує локальність, керованість і безпеку процесу, що вигідно відрізняє його від традиційного об'ємного нагріву.

Запропонована технологія забезпечує низку критичних переваг.

- Відсутність емісії діоксинів, фуранів та інших стійких органічних забруднювачів – галогени зв'язуються у мінеральні солі, а вуглець переходить у тверду фазу;
- Зниження техногенного навантаження на ґрунти та водойми – відходи не вивозяться на полігони;
- Зменшення обсягів парникових газів – порівняно зі спалюванням, викиди CO_2 скорочуються щонайменше на 40–60 % (за рахунок зв'язування вуглецю у вихідному продукті);
- Відсутність потреби в вартісних каталізаторах (Pt, Pd, Ni тощо) на відміну від гідрогенолізу;
- Отримання комерційно цінних форм нановуглецю: наноалмази, фулерени, наносфери, нанотрубки, які можуть використовуватися у промисловості (наповнювачі, модифікатори властивостей); електротехніці (електропровідні покриття, електроди); каталізі (носії, адсорбенти).

Наше дослідження безпосередньо корелює з наступними Цілями сталого розвитку ООН [1]:

ЦСР 3 (Міцне здоров'я та благополуччя) – зменшення впливу токсичних органічних забруднювачів на населення;

ЦСР 9 (Інновації та інфраструктура) – розробка нових інноваційних технологій переробки відходів;

ЦСР 12 (Відповідальне споживання та виробництво) – перехід до циркулярної економіки, перетворення відходів на ресурс;

ЦСР 13 (Боротьба зі зміною клімату) – зменшення викидів парникових газів порівняно з традиційними методами.

Розроблені імпульсні методи високовольтної обробки рідких або розчинних органічних відходів та СВС є екологічно безпечними та економічно доцільними альтернативами традиційному спалюванню вуглецевмісних відходів. Вони забезпечують повну деструкцію небезпечних органічних сполук, надійне зв'язування галогенів у нетоксичні мінеральні форми, отримання товарних порошків нанорозмірного вуглецю, що відповідає концепції «нульових відходів» і є внеском у досягнення сталого розвитку.

Найближчі перспективи дослідження включають дослідження впливу параметрів обробки на морфологію та властивості отриманих вуглецевих нанопорошків для цільового застосування; масштабування лабораторних установок до пілотного промислового рівня; розробку техніко-економічного обґрунтування для впровадження на підприємствах хімічної, машинобудівної та електротехнічної галузей.

Список літератури:

1. United Nations General Assembly. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1). https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

2. Kuskova N., Malyushevskaya A., Prystash M., Prystash S., Adamchuk Yu. Synthesis of nanocarbon by high-voltage breakdown of hydrocarbons. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. № 6 (126). https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292774

ДІКАРЕВ К.Б., ПАПІРНИК Р.Б., ЧУМАК Л.О.,
КОВАЛЬ В.М., СЕЛЕЦЬКИЙ В.В. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОТНОГО БУДІВНИЦТВА НА ОСНОВІ АВТОНОМНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій
49005, вул. Архітектора Олега Петрова, 24а, Дніпро, Україна;
ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua

Abstract. The study substantiates the use of autonomous battery-powered technological systems as a resource-efficiency measure in high-rise construction. Lean Construction principles, Time and Motion Study and discrete spatial optimization were used. A pilot time study of vertical formwork installation showed that non-value-added time decreased from 66.5 to 7.0 min per worker per shift, releasing 59.5 min. For a 24-storey building, single- and multi-hub charging scenarios were compared. Two charging hubs at the 6th and 18th floors reduced modelled vertical-logistics losses to 33% of the ground-level baseline, while three hubs reduced them to 28%. The proposed approach supports rational use of labour, temporary infrastructure, space and energy resources.

Сучасне висотне будівництво характеризується значною концентрацією людських, матеріальних та енергетичних ресурсів у вертикально розвиненому виробничому просторі. У подібній ситуації зростання рівня ресурсоефективності зумовлене як результативністю ключових технологічних процедур, так і мінімізацією тривалості супутніх етапів, що не беруть участі у формуванні доданої вартості. Методологія Lean Construction дає змогу віднести до таких втрат зайві переміщення, очікування, транспортування, надлишкові запаси та повторну обробку [1, 2].

Одним із джерел прихованих втрат у багатоповерховому будівництві є тимчасова кабельна інфраструктура мережевого електроінструменту. Зі збільшенням поверховості зростає довжина маршрутів, кількість переміщень кабелів і розподільчих пристроїв, час пошуку точок живлення та ризик простоїв через перевантаження тимчасових мереж. Перехід до уніфікованих акумуляторних платформ змінює не лише тип інструменту, а й організацію ресурсного забезпечення робочих зон, оскільки дозволяє локалізувати інструмент і джерела живлення безпосередньо поблизу місця виконання робіт [3, 4].

Для кількісної оцінки ефекту використано метод Time and Motion Study. Робочий час поділено на операції, що створюють додану вартість (Value-Added, VA), та вимушені непродуктивні операції (Non-Value-Added, NVA). Коефіцієнт ефективного використання робочого часу визначається залежністю:

$$\eta_t = T_{va} / (T_{va} + T_{nva}), \quad (1)$$

де T_{va} - чистий операційний час виконання технологічних операцій; T_{nva} - сумарний час прихованих технологічних і логістичних втрат.

Пілотний хронометраж виконано для монтажу вертикальної опалубки площею 50 м² ланкою з двох теслів-бетонярів. У базовому сценарії із застосуванням мережевого інструменту непродуктивні витрати становили 66,5 хв на одного працівника за 8-годинну зміну, а для акумуляторної схеми - 7,0 хв. Отже, чисте вивільнення часу дорівнює 59,5 хв/зміну, або 12,4% фонду робочого часу. Для ланки з двох працівників за 22 робочі дні це відповідає приблизно 43,6 люд.-год. У розширеному сценарному бюджеті з урахуванням надлишкової обробки приріст ефективного операційного часу становить 84,5 хв, або 17,61% зміни.

Окремим завданням є оптимізація розміщення зарядної інфраструктури. Для 24-поверхової будівлі просторово-координаційну модель сформовано як задачу мінімізації сумарного часу вертикального та горизонтального переміщення акумуляторів між робочими зонами і зарядними хабами. Основні результати сценарного моделювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння схем розміщення зарядних хабів

Схема організації	Розміщення хабів, поверх	Втрати за зміну, хв	Відносний рівень, %
Базова наземна	1	1478,0	100
Один центральний хаб	13	790,0	53
Два зональні хаби	6; 18	487,7	33
Три зональні хаби	4; 12; 20	413,8	28

Розрахунки показали, що абсолютний мінімум однохабової моделі формується в центральній частині будівлі: для 13-го поверху сумарні модельні втрати становлять 790 хв, а 12-14-й поверхи утворюють практично рівнозначну зону. Перехід до двох зональних хабів на 6-му та 18-му поверхах знижує часові втрати до 33% базового рівня. Тризональна схема з хабами на 4-му, 12-му та 20-му поверхах знижує їх до 28%, однак потребує додаткового комплекту зарядного та буферного обладнання. Тому кількість хабів доцільно визначати не лише за часовим критерієм, а й з урахуванням вартості інфраструктури.

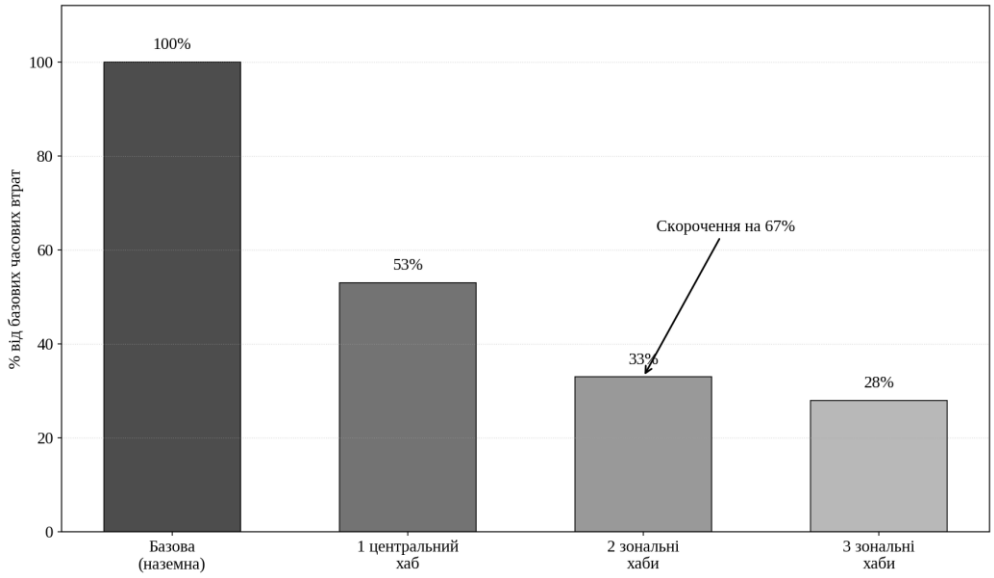


Рис. 1. Відносні часові втрати для різних схем зарядної інфраструктури

Таким чином, автономні акумуляторні технологічні комплекси доцільно розглядати як елемент організаційно-технологічної системи ресурсоефективного висотного будівництва. Їх застосування дозволяє скоротити непродуктивні переміщення, зменшити обсяг тимчасової кабельної інфраструктури та підвищити автономність робочих зон. Наукова новизна запропонованого підходу полягає у поєднанні хронометражної оцінки втрат із дискретною моделлю просторового розміщення зарядних хабів. Подальші дослідження мають включати фактичне енергоспоживання, деградацію АКБ, CAPEX/OPEX зарядної інфраструктури та багатокритеріальну оптимізацію за показниками «час - енергія - вартість - ресурс обладнання».

Список літератури:

1. Koskela L. Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report No. 72. Stanford University, 1992.
2. Al Barazi A., Seppänen O., Pikas E., Lehtovaara J., Peltokorpi A. Enhancing Internal Vertical Logistics Flows in High-Rise Construction: An Exploratory Study. Proc. 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2021. P. 717-726.
3. Santos F. R. d. S., Souza M. d. O. R., Souza R. A. F. de et al. Cordless Battery-Powered Tools in Urban Construction: Environmental and Operational Impacts. Preprints. 2025. Art. 2025101839.
4. Кос Т. В., Рижакова Г. М. Концепція Lean Construction як інструмент підвищення операційної ефективності девелоперських проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2023. Вип. 51. С. 45-54.
5. Тугай О. А., Бурик О. М. Оптимізація логістичних процесів при зведенні багатоповерхових житлових будинків. Містобудування та територіальне планування. 2022. Вип. 79. С. 312-321.

КУЦЕНКО-СКОКОВА А.О., ДАНИЛОВА Т.В., ДІКАРЕВА Л.К.,
ПАПІРНИК М.Р. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ УЛАШТУВАННЯ МОДУЛЬНИХ ЗЕЛЕНИХ ПОКРІВЕЛЬ

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
49005, вул. Архітектора О.Петрова, 24а, Дніпро, Україна; postmaster@pdaba.edu.ua

Abstract. This work develops a more formal scientific approach to assessing the constructability of modular green roof installation for civil buildings. The most labor-intensive operation is the installation of modules in the main roof field; its share is 46.8 %. To generalize the results, the dependence is introduced for four alternatives: traditional extensive, modular extensive, semi-intensive and intensive systems. For the accepted area, the modular extensive system reduces calculated labor input by 29.4 %. The highest integral constructability indicator is obtained for the modular extensive system, Kt = 4.60. The graphical results demonstrate the advantages of the modular solution in labor intensity, productivity and maintainability.

Зелені покрівлі поступово переходять із категорії архітектурно-екологічних рішень у сферу технологічно регламентованих будівельних систем. Для цивільних будівель вони одночасно виконують функції огороджувального покриття, водорегулювального шару, елемента міського озеленення та експлуатованого простору. Для будівельної організації вирішальними є трудомісткість, тривалість монтажу, ритмічність подавання матеріалів, контроль прихованих робіт, ремонтопридатність і здатність процесу вписуватися в календарний графік. Тому оцінювання технологічності модульних систем озеленення має виконуватися через систему кількісних залежностей, придатних для технологічного проєктування.

Традиційне пошарове влаштування озелененого покриття передбачає значну кількість операцій безпосередньо на покрівлі: укладання захисних, дренажних і фільтрувальних шарів, розподілення субстрату, формування рослинного шару, оформлення примикань і первинний догляд. У реальних умовах ці операції ускладнюються обмеженою площею складування, необхідністю збереження гідроізоляції, залежністю від погоди та потребою в постійному контролі водовідведення. Модульна екстенсивна система частину трудомістких операцій переносить у заводські або підготовчі умови, однак на будівельному майданчику залишається критична група операцій.

Недостатньо дослідженою залишається виробнича сторона впровадження модульних зелених покрівель: як змінюється трудомісткість процесу зі збільшенням площі, який склад ланки є раціональним, які операції формують найбільші витрати часу, наскільки результат чутливий до логістики модулів і які критерії доцільно враховувати під час вибору конструктивно-технологічного рішення. Для практики будівельного виробництва потрібна не лише загальна характеристика переваг модульних систем, а й формалізована модель, придатна для технологічної карти, календарного планування та попереднього вибору системи.

Для проведення дослідження було прийнято фрагмент покрівлі площею 120 м². За результатами хронометражного моделювання сумарна трудомісткість комплексу робіт становить 33,90 люд.-год, питома трудомісткість — 0,282 люд.-год/м². Найбільшу частку трудомісткості формує операція з укладання модулів основного поля. Її частка становить 46,8 %, що підтверджує доцільність оптимізації укладання і передмонтажної логістики, яка забезпечує безперервність операції. Для порівняння технологічності розглянуто чотири конструктивно-технологічні рішення: традиційну екстенсивну зелену покрівлю, модульну екстенсивну систему, напівінтенсивне комбіноване рішення та інтенсивну експлуатовану систему. Отримані дані свідчать, що модульна екстенсивна система має найменшу загальну трудомісткість серед порівнюваних рішень. Порівняно з традиційною екстенсивною системою вона зменшує розрахункові трудові витрати на 29,4 %. Основна причина такого результату полягає у скороченні операцій із розподілення субстрату та формування рослинного шару безпосередньо на покрівлі.

Залежності q(A) показують, що зі збільшенням площі розрахункового фрагмента питома трудомісткість зменшується, оскільки умовно сталі операції розподіляються на більшу площу (рис. 1). Це особливо важливо під час порівняння об’єктів різного масштабу: для малих ділянок висока частка примикань, контролю, поливу та організаційних дій може суттєво збільшувати питому трудомісткість, тоді як для великих площ переважає змінна складова, пов’язана з повторюваними операціями укладання.

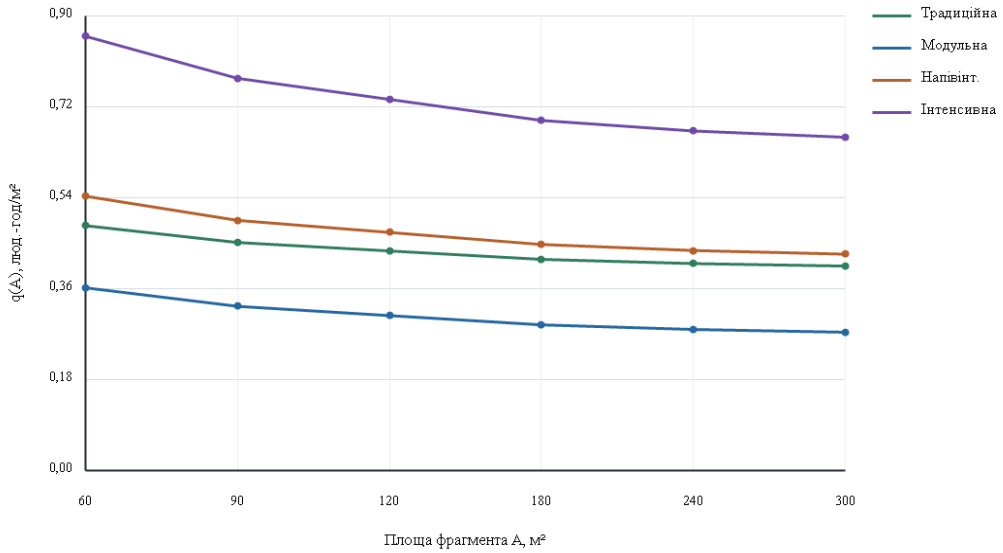


Рис. 1. Розрахункова залежність питомої трудомісткості q(A) від площі фрагмента покрівлі

Для повнішого порівняння використано багатокритеріальний показник технологічності Кт (рис. 2). До системи критеріїв включено трудомісткість, тривалість монтажу, контроль якості, логістичну зручність, ремонтопридатність та експлуатаційну складність.

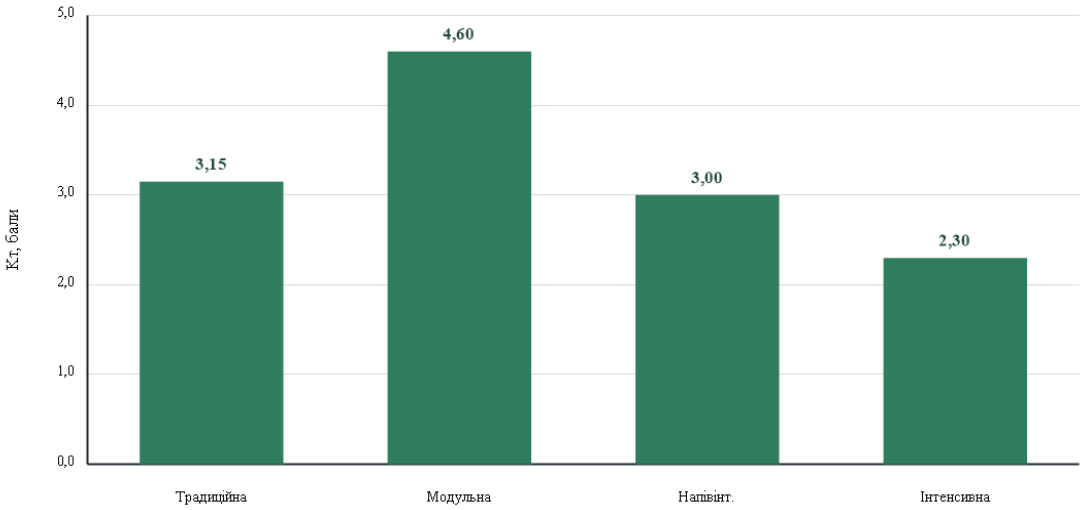


Рис. 2. Інтегральний показник технологічності альтернативних систем

Найвищий інтегральний показник технологічності отримала модульна екстенсивна система — Кт = 4,60. Її перевага формується за рахунок високих оцінок за трудомісткістю, тривалістю монтажу та ремонтопридатністю. Окремі модулі можуть бути локально замінені без розкриття значної площі покриття, що є важливим для подальшої експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання при проєктуванні технологічних карт, календарного планування, вибору складу ланки та попереднього технологічного порівняння систем зелених покрівель.

Список літератури:

1. ДБН В.2.6-220:2017. (2017). Покриття будівель і споруд. Київ: Мінрегіон України.
2. Cascone, S. (2019). Green roof design: State of the art on technology and materials. Sustainability, 11(11), Article 3020. https://doi.org/10.3390/su11113020
3. Green Roof Organisation (2021). The Green Roof Code: Green Roof Code of Best Practice for the UK 2021. Sheffield: GRO.
4. Loiola, C., Mary, W., & Pimentel da Silva, L. (2019). Hydrological performance of modular-tray green roof systems for increasing the resilience of megacities to climate change. Journal of Hydrology, 573, 1057–1066. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.004
Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 757–773. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006

КОПАНИЦЯ О.Б. (УКРАЇНА, КИЇВ)

КОМБІНОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», м. Київ; вул. Василя Липківського, 35/2, 02000; officenttn@ukr.net

Abstract. Pulp and paper wastewater contains a complex mixture of organic matter, lignin-derived compounds, suspended solids and color-forming substances, which makes a single treatment process insufficient for many effluents. The purpose of the study is to substantiate an integrated treatment concept based on electrocoagulation, membrane separation and, when necessary, advanced oxidation. Electrocoagulation is considered as a pretreatment step for reducing the load on membrane units, while membrane processes provide deeper separation and oxidation can be used for persistent organic compounds and residual color. The proposed combination is intended to improve treatment stability, reduce membrane fouling and create conditions for the reuse of treated water in production processes.

Целюлозно-паперова промисловість належить до водоємних виробництв, а склад її стічних вод істотно залежить від виду сировини, технології одержання целюлози, процесів промивання та відбілювання, а також виду готової продукції. Для таких стоків характерна наявність органічних речовин, лігніну та його похідних, завислих речовин, забарвлених сполук та інших компонентів, що визначають високе органічне навантаження. Сучасні огляди наголошують на необхідності диференційованого підходу до очищення окремих потоків, оскільки їх склад і біорозкладність можуть істотно відрізнятися [1].

Проблема полягає не лише у досягненні нормативної якості очищення, а й у забезпеченні стабільної роботи очисної системи за змінного складу стоків. Застосування одного процесу часто не забезпечує одночасного вилучення завислих, колоїдних та розчинених органічних речовин. Тому перспективним є поєднання технологій, за якого кожна стадія виконує окрему функцію та зменшує навантаження на наступну.

Метою роботи є обґрунтування комбінованого підходу до очищення стічних вод целюлозно-паперових підприємств із використанням електрокоагуляції, мембранного розділення та, за необхідності, процесів поглибленого окиснення.

Електрокоагуляція може бути використана як стадія попереднього очищення. У процесі електрохімічного розчинення металевого анода утворюються коагулювальні форми, здатні сприяти агрегації колоїдних і дисперсних забруднювачів. Це створює умови для їх подальшого відділення та зменшує кількість компонентів, які надходять на мембранну стадію. Дослідження реальних стоків целюлозно-паперового виробництва підтверджують перспективність електрокоагуляції та можливість оптимізації її режимів за допомогою статистичних методів [2].

Ефективність електрокоагуляції визначається матеріалом електродів, густиною струму, тривалістю оброблення, pH, електропровідністю та початковою концентрацією забруднювачів. Тому режим не може бути однаковим для всіх підприємств. Його необхідно встановлювати експериментально з урахуванням складу конкретного стоку та цільових показників очищення. Надмірна інтенсивність процесу може збільшувати енерговитрати й утворення осаду, тоді як недостатня — не забезпечувати необхідного вилучення забруднювачів.

Наступною стадією може бути мембранне розділення. Мікрофільтрація та ультрафільтрація доцільні для вилучення залишкових завислих і колоїдних компонентів, тоді як нанофільтрація або зворотний осмос можуть застосовуватися для глибшого вилучення розчинених речовин. Водночас практичне використання мембран обмежується їх забрудненням і зниженням проникності. Саме тому поєднання електрокоагуляції з мембранними процесами розглядається як перспективний підхід до промислового очищення: попереднє вилучення частини забруднювачів може зменшувати мембранний фолінг та підтримувати стабільність процесу [3].

У запропонованій технологічній концепції після електрокоагуляції передбачається відділення утворених пластівців, після чого освітлена вода подається на мембранний блок. Така послідовність дає змогу розподілити функції між процесами: електрокоагуляція працює переважно з колоїдними та дисперсними компонентами, а мембранна стадія забезпечує більш глибоке розділення. Для окремих концентрованих потоків доцільним може бути їх відокремлене очищення, що відповідає сучасній концепції source separation для целюлозно-паперових підприємств [1].

Окрему проблему становлять забарвлені та важкоокиснювані органічні сполуки, які можуть залишатися після основного очищення. Для таких компонентів доцільно розглядати процеси поглибленого окиснення як фінішну стадію. Озонування, реагент Фентона, пероксид водню та фото-Фентон здатні знижувати кольоровість і хімічне споживання кисню; ефективність залежить від часу контакту, дози окисника та характеристик попередньо очищеної води [4]. При цьому окиснювальну стадію доцільно застосовувати вибірково, коли звичайного фізико-хімічного або мембранного очищення недостатньо.

Для оцінювання комбінованої системи необхідно враховувати не один показник, а комплекс характеристик. Основними можуть бути хімічне та біохімічне споживання кисню, завислі речовини, кольоровість, загальний органічний вуглець та специфічні показники, пов’язані з процесом відбілювання. Одночасно слід контролювати питомі енерговитрати, витрати електродного матеріалу, утворення осаду, продуктивність мембрани та потребу в її очищенні. Такий підхід дозволяє оцінювати не тільки ступінь вилучення забруднювачів, а й ресурсну ефективність технології.

Важливим результатом комбінованого очищення може бути підготовка води до повторного використання. Вимоги до якості оборотної води залежать від конкретної технологічної операції, тому немає потреби забезпечувати однаковий ступінь очищення для всього об’єму стічних вод. Диференційоване використання води після різних стадій очищення може зменшити потребу у свіжій воді та водночас скоротити енергетичні витрати на надглибоке очищення.

Подальша апробація запропонованої концепції має передбачати визначення оптимальних режимів кожної стадії та порівняння альтернативних послідовностей процесів. Доцільно окремо оцінити внесок електрокоагуляції, мембранного розділення та окиснення у загальний ефект очищення, а також встановити зв’язок між якістю вихідної води й експлуатаційними витратами. Це дозволить сформувати технологічну схему, адаптовану до фактичного складу стоків конкретного підприємства.

Таким чином, комбінування електрокоагуляції, мембранного розділення та процесів поглибленого окиснення створює гнучку основу для очищення складних стічних вод целюлозно-паперових підприємств. Електрокоагуляція може знижувати навантаження на мембранний блок, мембранні процеси забезпечують глибше розділення компонентів, а окиснення може застосовуватися для доочищення від стійких органічних речовин і кольорових сполук. Перспективним напрямом є оптимізація цієї комбінації з урахуванням енерго- та ресурсоефективності та оцінювання можливості повторного використання очищеної води у виробничому циклі.

Список літератури:

1. Esmaeeli, A., Sarrafzadeh, M.-H., & Zeighami, S. (2023). A comprehensive review on pulp and paper industries wastewater treatment advances. Industrial & Engineering Chemistry Research, 62(21), 8119–8145. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c04393

2. Electrocoagulation technique and statistical analysis for treatment of real effluent from the pulp and paper industry. (2023). International Journal of Electrochemical Science, 18(12), 100389. https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100389

3. Aladily, A. J., Mohammed, T. J., & Albayati, T. M. (2025). Coupling of electrocoagulation and membrane in hybrid and integrated systems for wastewater treatment: A critical review. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 208, 110093. https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.110093

4. Javeed, T., Nawaz, R., Al-Hussain, S. A., Irfan, A., Irshad, M. A., Ahmad, S., & Zaki, M. E. A. (2023). Application of advanced oxidation processes for the treatment of color and chemical oxygen demand of pulp and paper wastewater. Water, 15(7), 1347. https://doi.org/10.3390/w15071347

МАСЛОВСЬКИЙ К.С., МАКСИМОВА Н.М. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

ЗНИЖЕННЯ НЕОРГАНІЗОВАНИХ ВИКИДІВ ПИЛУ ПРИ ВИДАЧІ КОКСУ

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
69008, Південне шосе, 80, м. Запоріжжя, Україна; natalya.maksimova@mipolytech.education

Abstract. The limitations of conventional wet gas-cleaning systems are analyzed, and the feasibility of applying a mobile smokeless coke-pushing unit integrated with a coke guide and an autonomous aspiration system is substantiated. The study considers localization of dust and gas flows directly at the point of generation, combined with dry cleaning technology, as an effective approach for particulate matter removal, reduction of fugitive emissions, and elimination of wastewater generation.

Процеси видачі, гасіння та транспортування коксу належать до основних джерел пиловиділення на коксохімічних підприємствах [1-2]. Видача розпеченого коксу з коксової печі супроводжується утворенням значних пилогазових викидів. У цей період відбувається інтенсивне винесення дрібнодисперсних твердих частинок, що надходять до атмосфери у вигляді неорганізованих викидів. Тому важливого значення набуває впровадження ефективних систем локалізації та очищення пилогазових потоків безпосередньо в зоні їх формування. Особлива увага приділяється скороченню саме неорганізованих викидів, які є найбільш складними для контролю.

Традиційно для очищення пилогазових викидів використовуються стаціонарні установки мокрого типу. Однак такі системи характеризуються значним водоспоживанням, утворенням стічних вод і необхідністю їх подальшого очищення. Використання системи мокрого пилогазоочищення також супроводжується корозійними процесами, накопиченням шламів та підвищеними витратами на технічне обслуговування. Крім того, ефективність локалізації пилу не завжди є достатньою через наявність відкритих газових трактів.

Застосування мобільної установки безпилової видачі коксу, інтегрованої з коксонапрямною та автономною аспіраційною системою має ряд переваг у порівнянні зі стаціонарною установкою мокрого типу. Її основною перевагою є локалізація пилогазових потоків безпосередньо в місці їх утворення. У процесі видачі коксу пилоповітряна суміш утримується в замкненому просторі та надходить до системи сухого очищення, де відбувається вилучення твердих частинок без використання води.

Автономна аспіраційна система забезпечує формування контрольованого повітряного потоку та підтримання розрідження в зоні видачі коксу. Це дозволяє істотно зменшити надходження пилу до виробничого середовища та атмосфери, покращує умови праці персоналу. На відміну від традиційних технологій, мобільна установка функціонує за принципом замкнутого газового контуру, що значно скорочує неорганізовані викиди забруднюючих речовин. Відбувається скорочення викидів дрібнодисперсних частинок, які відзначаються високою здатність до дальнього атмосферного переносу та тривалим перебуванням в атмосфері.

Крім екологічних переваг, мобільна установка забезпечує низку виробничих ефектів. Поєднання функцій коксонапрямної та аспіраційного комплексу дозволяє спростити технологічну схему, підвищити гнучкість експлуатації та знизити потребу в ремонтах і технічному обслуговуванні. Відсутність систем мокрого пилогазоочищення також сприяє зменшенню споживання ресурсів.

Отже, впровадження мобільної установки безпилової видачі коксу з автономною аспіраційною системою є ефективним рішенням для скорочення неорганізованих пилових викидів на коксохімічних підприємствах. Порівняно з традиційними системами мокрого пилогазоочищення така технологія забезпечує вищий рівень локалізації пилогазових потоків, виключає використання води й утворення значної кількості стічних вод і шламів, зменшує утворення вторинних відходів і спрощує експлуатацію обладнання, що відповідає сучасним екологічним вимогам.

Список літератури:

1. Hein, M., & Kaiser, M. (2012). Environmental control and emission reduction for coking plants. In Environmental Control Technologies for the Metallurgical Industry (pp. 247–276). InTech. https://doi.org/10.5772/48275
2. U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). AP 42, Chapter 12.2: Coke production. https://gaftp.epa.gov/ap42/ch12/s02/final/c12s02.pdf

KRYKHOVETS O., DASHO Y. (UKRAINE, LVIV)

MODIFICATION OF BIODEGRADABLE FILM MATERIALS BASED ON POLYVINYL ALCOHOL AND STARCH: IMPROVING STRENGTH, WATER RESISTANCE AND THERMAL STABILITY

Lviv Polytechnic National University
12 S. Bandera Street, Lviv, Ukraine, 79013, oleksandra.v.krykhovets@lpnu.ua

Abstract. This paper considers the main approaches to improving the functional properties of biodegradable film materials based on polyvinyl alcohol and starch. The effects of chemical crosslinking and reinforcement using citric acid, boron-containing compounds, aldehydes, epichlorohydrin, and cellulose-based nanomaterials are discussed. Particular attention is given to sodium tetraborate and citric acid as promising modifiers for improving the mechanical strength, water resistance, and thermal stability of PVA–starch films while maintaining their environmental compatibility.

Film materials based on natural and synthetic water-soluble polymers are currently regarded as one of the most promising avenues for finding alternatives to traditional polymeric materials. Compositions based on polyvinyl alcohol and starch are of particular interest, as they combine the good film-forming properties of PVA with the affordability, renewability and biodegradability of starch. The inclusion of starch in the composition makes it possible to reduce the proportion of synthetic polymer and potentially lower the material's environmental impact after it has reached the end of its useful life.

At the same time, starch and PVA-starch films have certain drawbacks that limit their practical application. First and foremost, these include high hygroscopicity, insufficient water resistance and changes in mechanical properties when exposed to moisture. Therefore, for the use of such materials as packaging films, coatings or controlled-release coatings, additional regulation of the properties of the polymer matrix is required.

One approach to overcoming this shortcoming is the physical or chemical cross-linking of polymer chains. During cross-linking, additional bonds are formed between macromolecules, resulting in a more stable network structure [1]. This restricts the mobility of the polymer chains and increases their resistance to external influences. Depending on the nature and concentration of the modifier, this approach can simultaneously improve the mechanical strength, water resistance and thermal stability of the film. When selecting modifiers for PVA-starch composites, it is important to consider not only their technological effectiveness but also their environmental characteristics. For biodegradable materials, it is preferable to use components that do not impose a significant toxicological burden and do not hinder the further degradation of the polymer matrix. In this context, citric acid, boron-containing compounds and cellulose nanomaterials show promise.

Citric acid can be used as a cross-linking agent to form a more stable structure in PVA-starch films [2]. At elevated temperatures, its carboxyl groups are capable of interacting with the hydroxyl groups of PVA and starch to form ester bonds. This results in the formation of a covalently cross-linked polymer structure. The use of citric acid can have a positive effect on the film's properties, in particular by increasing mechanical strength, reducing water absorption and improving thermal stability. This is precisely why this modifier is of interest for the development of materials in which it is necessary to combine sufficient service life with environmental performance [3].

Another approach to modifying PVA-starch systems involves the use of boron-containing compounds. These are capable of interacting with the hydroxyl groups of polymers, promoting the formation of additional bonds between macromolecules. Boronic acid can interact with the functional groups of PVA and starch, thereby influencing the structure and properties of the polymer matrix. Such modification can reduce the material's swelling in water and enhance its mechanical stability.

Sodium tetraborate is also of practical interest, as it is used for the structural modification of polymers containing a large number of hydroxyl groups. Its incorporation into a PVA-starch composition can promote the formation of additional interactions between polymer chains, increase mechanical strength and reduce the film's water absorption. At the same time, the effectiveness of such modification depends to a large extent on the concentration of sodium tetraborate. Excessive cross-linking may lead to a reduction in the mobility of the polymer chains and, as a result, a deterioration in the material's elasticity [4].

Glyoxal, glutaraldehyde and epichlorohydrin may also be used for the chemical cross-linking of PVA and starch. These compounds are capable of interacting with the functional groups of polymers and forming a more stable cross-linked structure. This approach can provide a significant improvement in the water resistance and mechanical strength of films. However, when developing biodegradable materials, it is necessary to

consider not only the effectiveness of the cross-linking agent, but also its safety and impact on the environmental characteristics of the final material. Therefore, the choice of modifier should be based on a comprehensive assessment of its technological advantages and potential environmental impact.

The use of nanocrystalline and nanofibrillar cellulose shows great promise for mechanical reinforcement [1]. Owing to their high specific surface area and the presence of hydroxyl groups, cellulose nanomaterials can interact effectively with PVA and starch. Their incorporation promotes the formation of a more structured composite system and can enhance the strength and thermal stability of the films.

The conditions of heat treatment, in particular the temperature and duration of the process, play an important role in determining the properties of PVA-starch materials. Furthermore, the influence of plasticisers must be taken into account; glycerine is one of the most commonly used plasticisers. Unlike cross-linking agents, its main function is not to form a rigid polymer network, but to reduce the strength of intermolecular interactions and increase the mobility of the polymer chains. This helps to increase the flexibility and reduce the brittleness of the film. At the same time, an excessive amount of glycerol can increase hygroscopicity and reduce the mechanical strength of the material. Therefore, the ratio of plasticiser to cross-linking agent is one of the key parameters when optimising the film composition [4].

The relationship between the material's water resistance and biodegradability should also be taken into account. A significant increase in the degree of chemical cross-linking compacts the polymer structure, restricts the mobility of macromolecules and may reduce water penetration into the matrix. At the same time, these changes potentially affect the polymer's accessibility to biodegradation processes. Consequently, excessive cross-linking is not always the optimal solution, and the composition of the material must be selected to strike a balance between mechanical strength, water resistance, flexibility and the capacity for subsequent degradation.

Thus, the properties of PVA-starch films can be specifically adjusted by selecting the type and concentration of the modifier, the ratio of polymer components, the amount of plasticiser and the heat treatment conditions. Citric acid, boron-containing compounds and cellulose nanomaterials are promising components for the formation of films with improved performance characteristics. Further optimisation of the composition of PVA-starch composites can lead to materials with the required combination of strength, water resistance, thermal stability and biodegradability, thereby expanding their potential applications in packaging materials, biodegradable coatings and controlled-release systems.

Список літератури:

1. Deng, H., Su, J., Zhang, W., Khan, A., Alizadeh Sani, M., Gökşen, G., Kashyap, P., Ezati, P., & Rhim, J.-W. (2024). A review of starch/polyvinyl alcohol (PVA) blend film: A potential replacement for traditional plastic-based food packaging film. *International Journal of Biological Macromolecules, 273*, 132926. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132926

2. Yuan, X., Wei, F., Wang, Z., Li, X., Deng, Y., Shi, X., & Lin, B. (2025). Transparent, mechanically robust and antibacterial food packaging film based on starch/PVA/citric acid/carboxycellulose nanofibers by one-pot green process. *International Journal of Biological Macromolecules, 302*, 140573. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140573

3. Marta, H., Indrianti, N., Aziza, A. J. N., Sholichah, E., Budiati, T., Sarifudin, A., Cahyana, Y., Sukri, N., & Pangawikan, A. D. (2026). Enhancing corn starch-poly(vinyl alcohol) and glycerol composite films with citric acid cross-linking mechanism: A green approach to high-performance packaging materials. *Journal of Renewable Materials, 14*(1). https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02025-0145

4. Krykhovets, O., & Slobodyanyk, V. (2025). Preparation and characteristics of films based on polyvinyl alcohol and starch for environmentally friendly packaging. *Advances in Science and Technology, 162*, 101–108. https://doi.org/10.4028/p-eR3mdB

КОМІСАР Л.С., КОВРОВ О.С. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ МАЙБУТНЬОГО З ЕКОХАБОМ РЕЦИКЛІНГУ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, просп. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна; Komisar.L.S@nmu.one

Abstract. The paper presents an engineering and environmental model of the Eco-Nexus residential complex for 10,000 residents. The model combines automated waste collection and sorting, anaerobic digestion with cogeneration, solar power, a closed water cycle, green protection, air-quality monitoring, and a digital twin. Calculations indicate an 85% reduction in landfilled waste, 10.678 GWh of annual local electricity generation, and reuse of 262,800 m³ of treated water. The integrated approach supports circular resource flows and environmentally safe urban development.

Перехід від лінійної до циркулярної економіки є передумовою сталого розвитку урбанізованих територій. Метою роботи є розроблення інженерно-екологічної моделі житлового комплексу «Eco-Nexus» на 10 000 мешканців з урахуванням досвіду району Hammarby Sjöstad [1, 2]. Модель інтегрує автоматизоване поводження з відходами, когенерацію на біогазі, замкнений водний цикл (Zero Liquid Discharge, ZLD), сонячну генерацію, біоінженерний захист і цифрову платформу управління.

За питомого утворення твердих побутових відходів (ТПВ) 1,20 кг/(особу·добу) їх валовий обсяг становитиме 4 380 т/рік, або 12 т/добу (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Матеріальний баланс ТПВ

Фракція	Частка, %	т/рік	кг/добу
Органічна	35	1 533	4 200
Папір і картон	20	876	2 400
Пластики	15	657	1 800
Скло	10	438	1 200
Метали	5	219	600
Залишок	15	657	1 800
Разом	100	4 380	12 000

Підземний вакуумний пневмотранспорт (Envac) розрахований на коефіцієнт піковості 1.5 з продуктивністю 18 т/добу (1.5 т/год) та швидкістю переміщення 70 км/год. Система повністю виключає рух сміттєвозів у житловій зоні, усуває шумові навантаження, витоки запахів, доступ гризунів та локальні викиди PM2.5/PM10 і Nox [4, 5].

Закритий термінал з оптичним сортуванням на базі штучного інтелекту (AI) та герметичною технологічною зоною з негативним тиском. Завдяки стабілізації залишків обсяг захоронення на полігонах скорочується на 85% (з 4 380 т/рік до 657 т/рік).

Анаеробне зброджування та енергетичний баланс. Переробка 1 533 т/рік органічної фракції при виході 120 м3 біогазу на тонну дає 183 960 м3/рік біогазу (110 376 м3 CH4/рік при вмісті метану 60%). Первинний енергетичний потенціал метану становить 1.10 ГВт·год/рік.

Когенерація (CHP). При ККД 83% (38% ел. + 45% тепл.) генерація складає 0.418 ГВт·год/рік електроенергії та 0.495 ГВт·год/рік тепла. Отримане тепло покриває потреби метантенків Еко-хабу, а електроенергія компенсує витрати на вакуумні вентилятори та технологічні потреби.

Сонячна генерація (PV/BIPV). Встановлення панелей площею 60 000 м2 (10.8 МВтр) забезпечує виробництво 10.26 ГВт·год/рік. Сумарна локальна генерація (10.678 ГВт·год/рік) покриває 42.7% розрахункового електроспоживання масиву (25 ГВт·год/рік).

Замкнений водний цикл (ZLD) та зливовий менеджмент. Річна потреба масиву становить 547 500 м3/рік (150 л/особу·добу). Обсяг сірих стоків складає 328 500 м3/рік (60%). При коефіцієнті повернення 80% повторно залучається 262 800 м3/рік очищеної технічної води, що скорочує споживання питної води на 48%. Збір опадів з покрівель площею 80 000 м2 дає додатково 33 000 м3/рік технічної води

(коефіцієнт збору 0.75), яка спрямовується на автополив, зелені дахи, дощові сади та прибудинкові потреби.

Біоінженерний еко-захист. Триярусна 50-метрова захисна смуга уздовж межі 1 000 м площею 5 га (верхній ярус — тополі, хвойні; середній — береза; нижній — чагарники, трави) забезпечує розрахункове затримання понад 85% пилу (PM2.5/PM10).

IoT-моніторинг складається з 11 постів (4 житлова зона, 2 еко-хаб, 2 буфер, 2 в'їзди, 1 регіональний фон) для контроля PM2.5, PM10, NO2, CO, O3 та метеопараметрів.

Аеродинамічне CFD-моделювання: Передбачає аналіз сценаріїв S0–S5 для розрахунку вітрового комфорту на рівні пішохода та ефективності будівель-екранів.

Головний екологічний ефект полягає в інтеграції потоків. Відходи стають сировиною та джерелом енергії, очищена вода повертається у технічний цикл, а зелена інфраструктура та моніторинг зменшують екологічні ризики. (табл. 2) [6, 7].

Таблиця 2

Індекс екологічної ефективності

Показник	Eco-Nexus
ТПВ	4 380 т/рік
Органіка	1 533 т/рік
Біогаз	183 960 м³/рік
Метан	110 376 м³/рік
PV	10,26 ГВт·ч/рік
CHP electricity	0,418 ГВт·ч/рік
Reuse води	262 800 м³/рік
EEI	0,881

Управління масивом здійснюється через 3D/GIS Цифровий двійник (Digital Twin), який об'єднує дані IoT-датчиків та симуляційні моделі. Реалізовано 6-етапний цикл управління (PDCA): вимірювання – порівняння з KPI – коригуюча дія – оновлення цифрової моделі (табл. 3).

Таблиця 3

Структура цифрового двійника

Рівень	Зміст
Фізичний	Будівлі, мережі, екохаб, зелена інфраструктура
Моніторинг	Повітря, вода, енергія, відходи
Дані	IoT, часові ряди, GIS
Моделі	Енергія, вода, відходи, CFD
Аналітика	KPI, прогнозування, сценарний аналіз
Управління	3D/GIS-панель і коригувальні дії

Висновки. Проєкт «Eco-Nexus» демонструє життєздатну практичну модель сталого урбаністичного розвитку. Інженерно-екологічна модель «Eco-Nexus» підтверджує можливість перетворення житлового масиву на ресурсозберігаючу, декарбонізовану та екологічно безпечну екосистему, що відповідає вимогам міжнародних стандартів BREEAM Communities та LEED.

Список літератури:

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. Hammarby Sjöstad. Official district information. URL: https://www.hammarbysjostad.se/en/hammarby-sjostad/ (дата звернення: 31.08.2026).
3. Hammarby Sjöstad Environmental Information. Energy. URL: https://www.hsef.se/en/energy/ (дата звернення: 31.08.2026).
4. Envac Group. Automated waste collection. URL: https://www.envacgroup.com/ (дата звернення: 31.08.2026).
5. Envac Group. The Envac system. URL: https://www.envacgroup.com/sg/how-it-works/the-envac-system/ (дата звернення: 31.08.2026).
6. BREEAM. Standards. URL: https://breeam.com/standards (дата звернення: 31.08.2026).
7. BREEAM. Communities. URL: https://breeam.com/standards/communities (дата звернення: 31.08.2026).

ЧЕЛЯДИН Л.[1], ХОМИН В.[1], ГРИГОРЧУК Г.[1], ЧЕЛЯДИН В.[2],
РУДИЙ В.[1] (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ШЛАМІВ ВОДООЧИЩЕННЯ

[1] Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019; liubomyr.cheliadyn@nung.edu.ua
[2] Національна академія наук України, м. Київ, Україна, 03142

Abstract. Environmental safety issues related to water-treatment sludge (WTS) accumulated in sludge fields of industrial and municipal facilities remain highly relevant. Zeolite treatment during storage reduced petroleum-product content by 69.2% and ammonium-nitrogen content by 71.4%. Utilization of oil sludge together with technogenic waste yields an energy material for cement raw mix. A technology has been developed for producing an agromaterial from WTS, zeolite, and mineral additives, reducing harmful and increasing beneficial components, which ensures its high environmental and technological efficiency.

У процесі очищення стічних вод на очисних спорудах утворюються значні обсяги осадів.В Україні та сусідніх країнах шлами водоочищення стічних вод внаслідок тривалого зберігання на мулових майданчиках та полігонах створюють екологічну небезпеку через ризик міграції забрудників у підземні водоносні горизонти та поверхневі водойми, які є джерелом питного водопостачання населення, що створюють техногенне навантаження на довкілля та впливають на сталий розвиток. Зростання об'ємів шламових відходів (ШВ) на мулових полях вимагає розширення площ для його зберігання, удосконалення шламо накопичувачів або створення технологій перетворення шламу з метою подальшої його утилізації корисний матеріал, а це зменшить вплив на довкілля.

Для підвищення екологічної безпеки територій необхідні технології обробки, переробки ШВ шляхом їх модифікації у безпечні матеріали та отримання матеріалів з корисними фізико-хімічними властивостями і використання їх у народному господарстві.

Дослідження зменшення забруднень при зберіганнні шламів водоочищення та розробка технологій їх перетворення є надзвичайно актуальними, оскільки зменшать забруднення довкілля та забезпечать сталий розвиток.

Згідно даних [1] на території Прикарпаття щорічно утворюється близько 855 тис. м³ рідкого шламу (≈21 тис. тонн сухої речовини), а накопичений обсяг станом на 2025 р. сягнув близько 475 тис. м³ на майданчиках площею близько 12 га .Зберігання , вміст забруднень у шламах водоочищення і вимог до використання та опис технологій їх перетворення описано у багатьох публікаціях, зокрема у [2-5] описано, що найбільш поширеними методами поводження з ШВ є механічне зневоднення, біологічна стабілізація, компостування, термічне сушіння, спалювання. Шлами водоочищення (ШВ) тривалий час зберігаються на мулових майданчиках, створюючи техногенне навантаження на довкілля. У Івано-Франківській громаді обсяг ШВ станом на 2025 р. становив близько 275 тис. м³, що обумовлює актуальність розроблення технологій їх переробки.

Метою дослідження є підвищення екологічної безпеки територій методом обробки і переробки шламу водоочищення (ШВ) природним матеріалом та техногенними відходами з розробкою технології отримання матеріалів з корисними фізико-хімічними властивостями.

Проведені дослідження показали, що при тривалому зберігання (2020–2024 рр.) вологість шламу зменшилась з 94,7 % до 78,9 %, pH — з 8,9 до 7,8, а зольність зросла з 5,1 % до 10,9 %, що свідчить про природне зневоднення та мінералізацію матеріалу. Рухомі форми кадмію, міді, цинку та нікелю перевищували нормативні значення на 3–24 % (табл. 1), що обмежує пряме використання шламу без їх обробки .

Таблиця 1

Вміст рухомих форм важких металів у шламі, мг/кг

Метал	Рухома форма	ГДК (рухома)	Перевищення
Кадмій	0,8	0,7	1,14
Мідь	11,5	10,0	1,15
Цинк	6,2	5,0	1,24
Нікель	4,1	4,0	1,03

Провели обробку шламу цеолітом у співвідношеннях 3:1–5:1, яка привела до зниження шкідливих компонентів у отриманому матеріалі. У результаті вміст нафтопродуктів знизився на 69,2 %, а амонійного азоту — на 71,4 % (рис. 1).

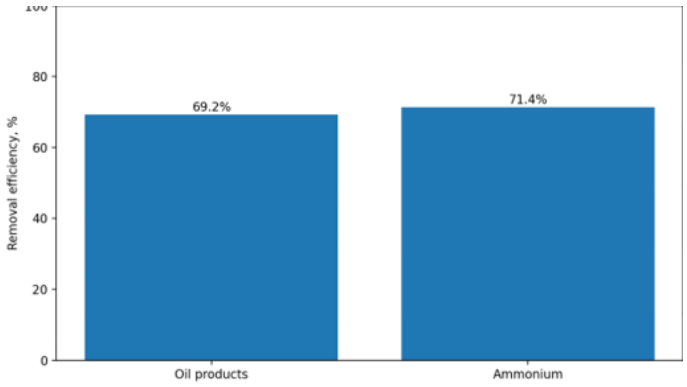


Рис. 1. Ефективність зниження вмісту нафтопродуктів та амонійного азоту після обробки цеолітом

Для утилізації нафтошламу проведено дослідження і розроблено технологію з добавкою золи ТЕС, цеоліту та карбоксилцелюлози і отримано матеріал-добавку для шихти, яка знижує енергозатрати на 5–10 % у цементному виробництві.

На основі комунального шламу та мінеральних добавок провели дослідження і запропоновано технологію отримання гранульованого агроматеріалу. Технологія включає змішування шламу з дисперсним цеолітом, кальційвмісними промисловими залишками та гуматним розчином та грануляцію у шнековому екструдері та сушіння за температури 50–80 °С. Обґрунтовано оптимальний склад сировинної суміші (мас. %): шлам комунальних очисних споруд — 30–35; гуматний розчин — 6–8; CaO — 20–25; цеоліт-клиноптилоліт — решта. Отриманий агроматеріал містить значну частку сполук кальцію, кремнію, калію та магнію, що свідчить про його потенційну придатність як меліоранту ґрунту або компонента органо-мінеральних сумішей, зокрема для кислих ґрунтів на територіях громад для забезпечення безпечного довкілля та сталого розвитку громад

Висновки. Тривале зберігання шламу водоочищення супроводжується природним зневодненням і мінералізацією матеріалу, проте рухомі форми важких металів у вихідному шламі можуть перевищувати нормативні межі, що обмежує його пряме використання без стабілізації. Запропоновані технології отримання матеріалів на основі стабілізованого шламу та мінеральних добавок дозволяють одночасно зменшити площі накопичення відходів і знизити ризики вторинного забруднення та отримати продукт з практичною цінністю для рекультивації земель і підвищення родючості ґрунтів.

Список літератури:

1. State Statistics Service. (2025). Environment of Ivano-Frankivsk region: Statistical yearbook. Ivano-Frankivsk.
2. Челядин, Л.І. Екотехнології промислових об'єктів регіону: монографія. – Івано-Франківськ, 2018. – 254 с. ISBN: 978-966-694-319-7
3. Vakal, S., Yanovska, A., Vakal, V., Artyukhov, A., Shkola, V., Yarova, T., Dmitrikov, V., Krmela, J. & Malovanyy, M. (2020). Minimization of Soil Pollution as a Result of the Use of Encapsulated Mineral Fertilizers. Journal of Ecological Engineering, 22(1), 221-230. https://doi.org/10.12911/22998993/128965/
4. Grygorchuk G.V., Grygorchuk L.I., Rovinakyi V.A. Evaluation characteristics of the pulp drying process. Methods and instruments for quality control. 2021. № 1(46). P. 111–116.
5. Tymchuk, I. (2023). Technical and technological aspects of biological reclamation using anthropogenic organic waste in composition with sewage sludge. Journal Environmental Problems, 8(2), 126-132. https://doi.org/10.23939/ep2023.02.126

СИНИЛО К.В., ГУЛЕВЕЦЬ Д.В., КАРПЕНКО С.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ЗЕЛЕНІ ІНІЦІАТИВИ ДЛЯ РЕГІОНАЛЬНИХ АЕРОПОРТІВ

Національний університет «Київський авіаційний інститут»,
03058, Україна, м. Київ, пр. Гузара Любомира 1, kateryna.synylo@npp.kai.edu.ua
Міжрегіональна академія управління персоналом,
03039, Україна, м. Київ, вул. Фрометівська, 2, gulevets@gmail.com
Національний університет «Київський авіаційний інститут»,
03058, Україна, м. Київ, пр. Гузара Любомира 1, karpenko_serg@ukr.net

Abstract. The 'Fit for 55' package is driving the transition of European aviation from a difficult sector to a climate innovation hub. Within the context of the strategic objectives defined by the ACARE 2050 Vision, the 'Fit for 55' package, and the European Green Deal, three distinct scenarios were developed for a comprehensive emission inventory at the EFACAport: baseline scenario (2023); perspective scenario (2030) taking into account uptrend in air traffic; benchmark scenario (on the basis of aircraft operations number at 1990). The total projected annual CO_2 emissions in perspective scenario for 2030 (Case 2) show a marginal decrease or near-stabilization (a reduction of roughly 1.7%) compared to the 1990 baseline.

Цілі ACARE слугують галузевим дослідницьким та технічним орієнтиром для реалізації завдань Європейської зеленої угоди (ЄЗУ) в авіаційній індустрії. Перелік нормативно-правових документів у межах пакету «Fit for 55» [1] створив нормативну та законодавчу базу для досягнення цілей Європейського кліматичного закону та Європейської зеленої угоди [2, 3]. Пакет «Fit for 55» спрямований на трансформацію майбутнього європейської та світової авіації шляхом регуляторних, фіскальних та інфраструктурних реформ із особливим акцентом на екологічно чисте авіаційне пальне (SAF). Основні стовпи, що безпосередньо стосуються авіації, включають:

- Регламент ReFuelEU Aviation [4]
- Перегляд системи торгівлі викидами ЄС (EU ETS)
- Регламент щодо розгортання інфраструктури альтернативних видів палива (AFIR) [5]

Незважаючи на труднощі, пов'язані з високою вартістю та необхідністю міжнародного узгодження, нормативно-правова визначеність ЄС забезпечує чіткий шлях до досягнення нульового рівня викидів до 2050 року, слугуючи зразком комплексної, дієвої та перспективної кліматичної політики.

У контексті стратегічних цілей, визначених баченням «ACARE 2050 Vision» [3], пакетом «Fit for 55» [1] та Європейською зеленою угодою [1], для інвентаризації викидів в аеропорту EFACA (прототип європейського регіонального аеропорту за структурою парка та кількістю польотів) було розроблено три окремі сценарії:

1. базовий сценарій (2023 рік);
2. перспективний сценарій (2030 рік), який враховує висхідну тенденцію зростання авіаперевезень;
3. еталонний сценарій (на основі кількості авіаційних операцій у 1990 році).

У контексті короткострокових цілей ACARE (до 2030 року) щодо скорочення викидів парникових газів принаймні на 55% до 2030 року (порівняно з рівнем 1990 року) було розроблено еталонний сценарій (benchmark scenario) із урахуванням прогнозованого зростання європейського комерційного авіатрафіку за період 1990–2030 років. У своєму звіті «European Aviation in 2040» [6] EUROCONTROL посилається на історичні дані, які чітко вказують на те, що обсяг авіаперевезень подвоївся між 1988 та 2008 роками. Відповідно, кількість польотів у 1990 році оцінюється приблизно у 5 мільйонів, і це значення буде використано для еталонного сценарію. На основі довгострокових прогнозів EUROCONTROL очікується, що кількість руху повітряних суден у європейській мережі досягне приблизно 12,2 мільйона до 2030 року. Це становить значне зростання — приблизно на 144% (більше ніж у 2,4 раза) за 40-річний період (1990–2030 рр.). Розрахований середньорічний темп зростання (CAGR) для руху комерційних рейсів становить приблизно 2,35% на рік.

Таким чином, еталонний сценарій встановлює ціль, за якої кількість авіаційних операцій, використання наземного обслуговувального обладнання (GSE) і допоміжних силових установок (APU), а також рух наземного транспорту на приаеропортовій території у базовому 1990 році були у 2,4 раза нижчими за прогнозовані значення 2030 року. На основі розглянутих тенденцій попиту на авіаперевезення та CAGR було оцінено кількість руху повітряних суден для парку аеропорту EFACA

у 1990 році. Крім того, було обрано репрезентативні моделі повітряних суден для кожної категорії з урахуванням складу парку планерів переважно другого та третього поколінь реактивної авіації, типових для операцій у 1990-х роках.

Загальні результати річної інвентаризації викидів для всіх джерел за моделлю PolEmiCa для еталонного сценарію порівнювалися з базовим варіантом (2023 рік) та перспективним сценарієм (2030 рік: варіант 1 і варіант 2), рис. 1.

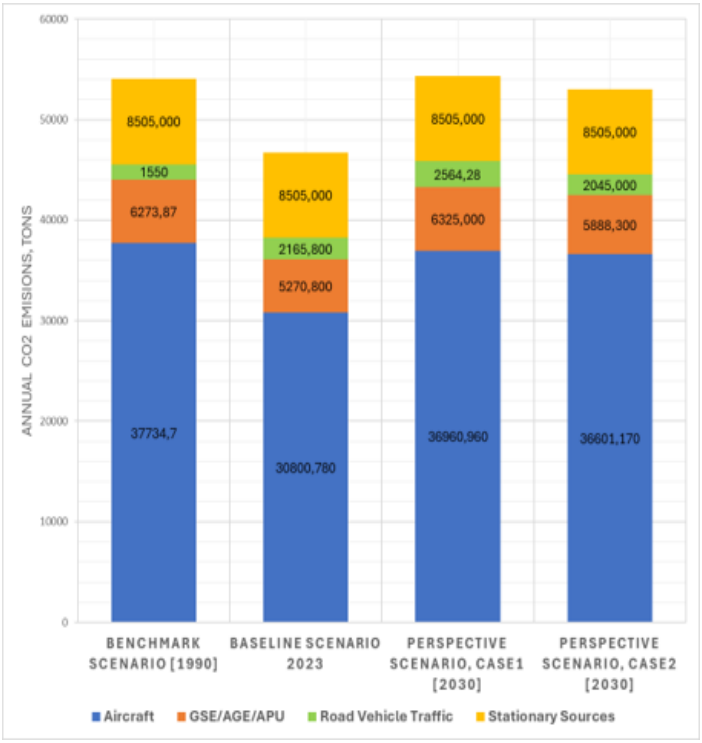


Рис. 1. Річна інвентаризація викидів CO_2 для аеропорту EFAC для еталонного [1990], базового [2023] та перспективного [2030] сценаріїв

Висновки.

Загальний прогнозований річний обсяг викидів CO_2 у перспективному сценарії на 2030 рік (Варіант 2) демонструє незначне зменшення або майже повну стабілізацію (скорочення приблизно на 1,7%) порівняно з еталонним 1990 роком. Це свідчить про те, що заходи з пом'якшення впливу (електрифікація наземного обладнання (GSE) та наземного транспорту) і технологічні вдосконалення (в внесок гібридного AT76) дозволяють утримати загальний рівень викидів для Варіанта 2 на рівні, близькому до еталонного показника 1990 року.

Список літератури:

1. EC (2021), Fit for 55. Delivering the Green Deal, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550

2. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'), http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj

3. *Fly the Green Deal – Europe's vision for sustainable aviation*, Publications Office of the European Union, 2022, https://data.europa.eu/doi/10.2777/732726

4. Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation) (Text with EEA relevance), http://data.europa.eu/eli/reg/2023/2405/oj

5. Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU (Text with EEA relevance), ELI: http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj

6. EUROCONTROL. (2018). EUROPEAN AVIATION IN 2040 CHALLENGES OF GROWTH Annex1 Flight Forecast to 2040. https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-07/challenges-of-growth-2018-annex1_0.pdf 12

КОТОВ М.А., РАЗУМОВА О.В. ВОЛЧУК В.М. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ЛОПАТЕЙ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

Український державний університет науки і технологій
ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
49005, вул. Петрова, 24а, Дніпро, Україна; volchuk.volodymur@pdaba.edu.ua

Abstract. The rapid expansion of wind turbine deployment inevitably leads, over time, to the growing challenge of managing end-of-life composite wind turbine blades. Their disposal presents a complex technological and environmental challenge, as these structural components are predominantly manufactured from multi-component polymer composites that are difficult to process using conventional recycling methods. Therefore, the development of effective approaches for the reuse, recycling, and environmentally safe disposal of such structures represents a promising area in the pursuit of sustainable development within the wind energy sector.

Використання енергії вітру для власних потреб є одним із найдавніших прикладів взаємодії людини із силами природи. Задовго до появи парових машин, двигуна внутрішнього згоряння та електроенергії вітер слугував людству джерелом механічної енергії, засобом пересування та важливою складовою господарської діяльності.

Починаючи від перших примітивних вертикальних вітряних млинів у Персії в X столітті нашої ери й до горизонтальних саморегульованих вітряків, які автоматично адаптувалися до напрямку та сили вітру, у Данії, Голландії, Франції та на території сучасної Німеччини, до середини 1850-х років енергія вітру використовувалася переважно лише для виконання механічної роботи. Самі вітряки були відносно невеликими як за розмахом лопатей, так і за висотою вежі, а матеріали, з яких їх виготовляли, здебільшого мали природне походження (дерево, метал, камінь та цегла) і досить просто перероблялися та утилізувалися після завершення терміну служби конструкцій.

Однак після відкриття Майклом Фарадеєм принципу електромагнітної індукції у 1821 році та завдяки роботам низки інших учених у галузі електротехніки було створено перший електрогенератор постійного струму, і з цього моменту людство почало перетворювати механічну енергію набігаючого повітряного потоку на електричну.

Від цього моменту розмах лопатей і висота веж почали стрімко зростати: розмах лопатей сучасних вітротурбін досягає 125 м, а висота вежі перевищує 200 м. Таке збільшення габаритів зумовило необхідність використання композитних матеріалів, які забезпечують високу міцність і гнучкість за одночасного зниження маси конструкції. Основним структурним елементом композитів є волокна - скловолокно, вуглецеві та арамідні волокна, які просочуються матрицею на основі смол, таких як епоксидні, поліефірні або поліефірні полімерні смоли, а також поліуретан.

Однак переваги композитних матеріалів у період експлуатації вітротурбіни водночас стають їхнім суттєвим недоліком після завершення терміну служби та під час утилізації. Сьогодні стандартний термін експлуатації наземної вітроелектростанції становить близько 20-25 років, і, відповідно, термін служби турбін першої великої хвилі розвитку вітроенергетики 1990-х років нині добігає кінця, тобто у 2020-2025 роках. У зв'язку з цим проблема утилізації відпрацьованих лопатей постає у повному обсязі.

Найпростішим способом утилізації є їх захоронення на полігонах для твердих побутових відходів. Однак це не вирішує проблему, оскільки обсяг відходів лише зростатиме, а разом із ним - і забруднення ґрунту та ґрунтових вод фенольними сполуками. Хімічні методи переробки композитних матеріалів лопатей, такі як гідроліз, гліколіз, сольволіз і піроліз, вирішують проблему лише частково. Вони дають змогу вивільнити частину волокон із полімерної матриці, однак при цьому утворюються токсичні гази та твердий залишок.

Набагато більш перспективними та придатними для застосування у сфері переробки композитних матеріалів вітрогенераторів є рециклінг, що передбачає переробку матеріалу для отримання нової сировини або виробів, та апсайклінг, за якого відпрацьований матеріал отримує нове застосування без повного руйнування його початкової структури. Ці підходи дають змогу найбільш повно використовувати надзвичайно високі, навіть після завершення терміну експлуатації, міцнісні характеристики як окремо нарізаних фрагментів лопатей, так і великогабаритних елементів лопаті з мінімальними змінами. Їх можна застосовувати як елементи паркової інфраструктури, для оздоблення та покриття поверхонь стін і покрівель, у малих самостійних архітектурних формах (рис. 1), а також для спорудження невеликих мостів із прольотом до 12 метрів.

Таким чином, відпрацьована лопать вітрогенератора може розглядатися не як кінцева точка життєвого циклу високотехнологічного виробу, а як початок нового матеріального та архітектурного циклу. Поєднання принципів рециклінгу, апсайклінгу, повторного конструктивного використання та циркулярного проєктування створює передумови для переходу від лінійної моделі «виробництво - експлуатація - утилізація» до моделі «виробництво - експлуатація - повторне використання - новий життєвий цикл».

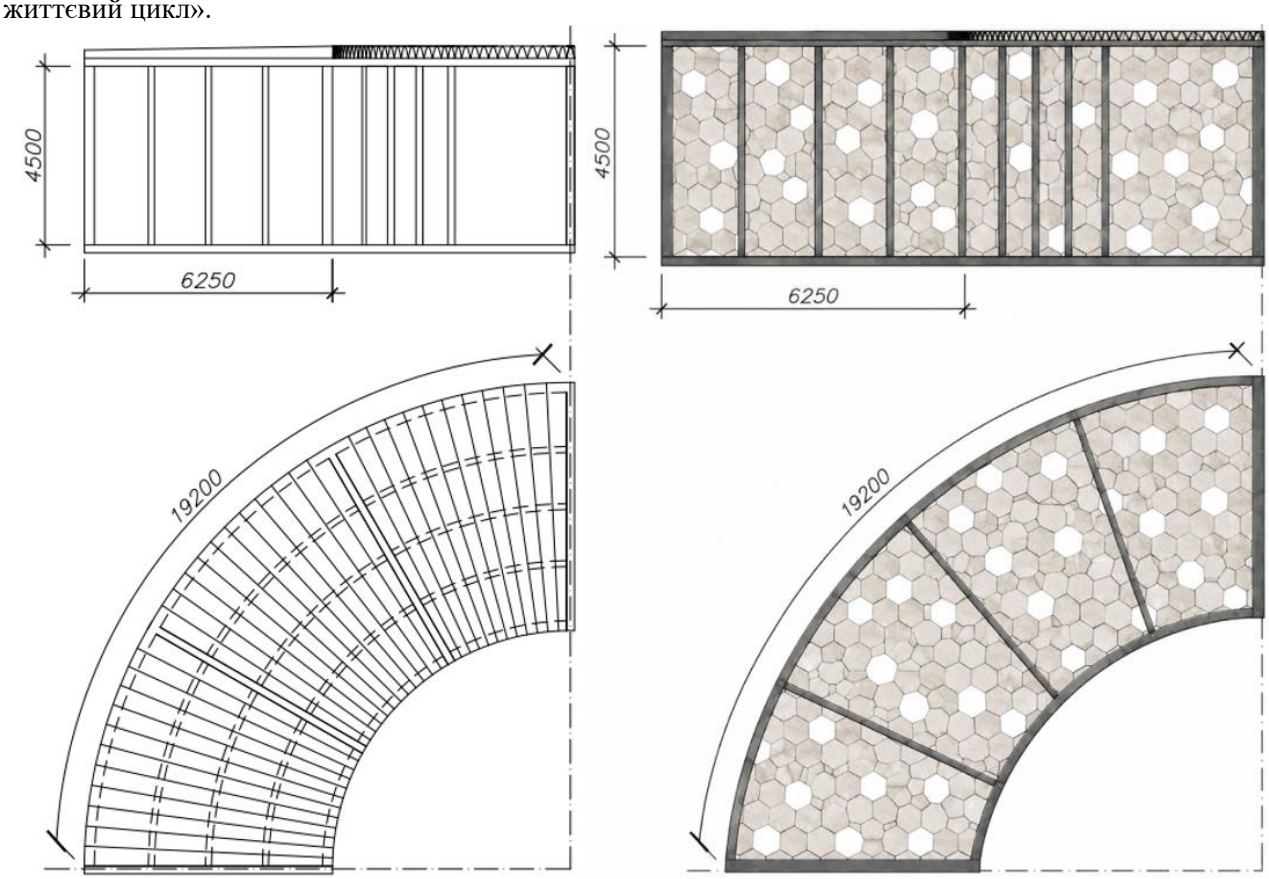


Рис.1. Приклад МАФ-у вигляді модульного сегмента паркової альтанки з покриттям із шестикутних фрагментів, нарізаних із лопаті вітрогенератора

Список літератури:

1. Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва / М. М. Бабенко, М. В. Савицький, С. Є. Шехоркіна, О. М. Кузьменко, О. І. Бондаренко, М. В. Бордун, М. А. Котов, В. А. Спиридоненков, М. О. Єлісєєва. – Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2018. – 99 с.

2. Проектування енергоефективних екобудівель. Практичний гід : монографія / М. Савицький, М. Бабенко, М. Бордун, С. Шехоркіна, О. Кузьменко, М. Котов ; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпро : ФОП Обласов В. О., 2019. – 97 с.

3. Green Technologies and 3D-Printing for a Triple-Zero Concept in Construction : monograph / M. Savytskyi, M. Babenko, M. Bordun [et al.]. – Dnipro : Private Enterprise Oblasov V. A., 2020. – 156 p.

4. Inspiring Materials for Triple Zero Buildings Design : monograph / M. M. Babenko, M. V. Savytskyi, S. Y. Shekhorkina [et al.]. – Dnipro : Private Enterprise Udovichenko O. M., 2019. – 128 p.

5. Johst P., Kucher M., Bühl M., Schulz P., Kupfer R., Schilling L., Santos R. M., Carneiro C., Voigt P., Modler N., Böhm R. Identification and Environmental Assessments for Different Scenarios of Repurposed Decommissioned Wind Turbine Blades [Электронный ресурс] // Materials Circular Economy. – 2023. – Vol. 5. – Art. 13. – DOI: 10.1007/s42824-023-00085-7. – Режим доступа: Springer Nature

6. Henao Y., Nicholson C., Huff J., Korey M., Gentry R., Ozcan S. Wind Turbine Blade Repurposing and Recycling: Coupling Repurposing Methods with 3D Printing Technology [Электронный ресурс] // Proceedings of the 19th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT). – João Pessoa, Paraíba, Brazil, 2023. – P. 579–587. – Режим доступа: ORNL Publication

7. Ruane K., Soutsos M., Huynh A., Zhang Z., Nagle A., McDonald K., Gentry T. R., Leahy P., Bank L. C. Construction and Cost Analysis of BladeBridges Made from Decommissioned FRP Wind Turbine Blades // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 4. – Article 3366. – DOI: 10.3390/su15043366.

МІЛЬОВИЧ С.С., ВАРВАРИНЕЦЬ В.М. (УКРАЇНА, УЖГОРОД)

СОРБЦІЯ ФОСФАТ ІОНІВ НА LA-МОДИФІКОВАНОМУ КЛИНОПТИЛОЛІТІ СОКИРНИЦЬКОГО РОДОВИЩА

Ужгородський національний університет
88000, вул. Фединця, 53/1, Ужгород, Україна; stepan.milyovich@uzhnu.edu.ua

Abstract. The sorption of phosphate ions on La-modified Sokyrnytsia clinoptilolite was investigated. Sorption experiments were conducted under static conditions using model solutions. Initial concentrations corresponded to 2, 5, and 10 times the maximum permissible concentration (MPC). Modification with lanthanum enhances the sorption properties of clinoptilolite with respect to phosphate ions.

З кожним роком на планеті все більше людей стикаються з нестачею якісної прісної води. Однією з причин цього є забруднення поверхневих вод полютантами як органічного так і неорганічного походження. Потрапляння у водойми надлишкових кількостей нітрогену та фосфору, призводить до евтрофікації водойм та водотоків. Наслідками евтрофікації є дефіцит кисню, загибель водної фауни та деградаціія водних екосистем. Крім того, цвітіння ціанобактерій є одним із серйозних наслідків евтрофікації, яке призводить до погвршення органолептичних властивостей води (запаху та смаку).

Одним із перспективних напрямів у вирішенні цієї проблеми є застосування природних сорбентів - мінералів, здатних поглинати забруднюючі речовини. Зокрема, цеоліти, завдяки своїй унікальній пористій структурі, високій іонобмінній здатності та селективності, демонструють високу ефективність у вилученні фосфатів та інших токсикантів із води. Природні цеоліти, зокрема клиноптилоліт Сокирницького родовища (Закарпатська область), мають високу термостійкість, кислотостійкість, а також значну площу внутрішньої поверхні, що забезпечує хороші адсорбційні характеристики.

Для підвищення ефективності вилучення фосфатів природні цеоліти доцільно модифікувати шляхом введення різними способами металів. Такі, модифіковані металами, сорбенти демонструють значно вищу селективність та сорбційну ємність щодо фосфат-іонів, оскільки метали формують стабільні фосфатні комплекси на поверхні мінералу.

Дослідження процесу вилучення фосфатів із водних розчинів з різною початковою концентрацією (2 ГДК, 5 ГДК та 10 ГДК) показує, що клиноптилоліт модифікаваний лантаном (Cli-La) демонструє вищу швидкість і глибину сорбції у порівнянні з немодифікованим (Cli-0). Модифікація природного клиноптилоліту лантаном підвищує ефективність вилучення фосфатів на понад 5-40% в залежності від початкової концентрації. Ступінь вилучення фосфат іонів на клиноптилоліті модифікованому лантаном складає 91% (2 ГДК), 77 % (5 ГДК) та 62% (2 ГДК) фосфатів від їх початкового вмісту (Рис. 1).

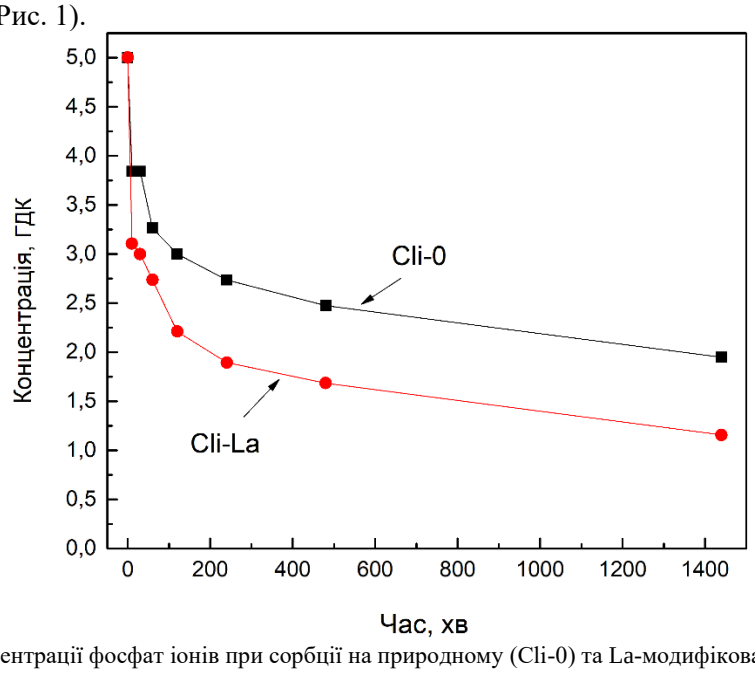


Рис. 1. Зниження концентрації фосфат іонів при сорбції на природному (Cli-0) та La-модифікованому клиноптилоліті, вихідна концентрація фосфат іонів 5 ГДК

НАГУРСЬКИЙ О.А., КАЧАН А.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ГЕОДИНАМІЧНА ТА ГІДРОХІМІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗОНІ ВПЛИВУ ЯВОРІВСЬКОГО ОЗЕРА ТА ХВОСТОСХОВИЩА ГХК «СІРКА»

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; oleg.a.nahurskyi@lpnu.ua

Abstract. The paper presents the results of a long-term assessment of hydrochemical transformation within the Yavoriv sulfur-mining area after termination of sulfur extraction and flooding of the open-pit mine. Changes in sulfate concentrations in Yavoriv Lake and the Shklo River were analyzed using published hydrochemical data and recent monitoring results. The results indicate gradual stabilization of the lake ecosystem, while elevated sulfate concentrations persist in the Shklo River. The study emphasizes the long-term post-mining impact, the hydrogeological controls of contaminant migration, and the need for continued monitoring of surface and groundwater within the transboundary Shklo River basin.

Яворівський сіркодобувний район є одним із найбільш масштабних прикладів трансформації природно-техногенних систем Передкарпаття. Тривала розробка родовища сірки відкритим способом супроводжувалася зміною природного режиму підземних вод, формуванням депресійної лійки, розвитком техногенних геохімічних процесів та накопиченням значних обсягів промислових відходів. Після припинення видобування сірки розпочалося затоплення кар'єрної виїмки та формування Яворівського озера, що зумовило докорінну перебудову гідродинамічних і гідрохімічних умов території.

Метою роботи є оцінювання довготривалої трансформації гідрохімічного стану Яворівського озера та річки Шкло, визначення характеру зміни сульфатного забруднення, встановлення сучасних тенденцій розвитку постмайнінгової природно-техногенної системи та обґрунтування пріоритетних напрямів екологічного моніторингу.

Яворівське озеро сформувалося в межах виробленого кар'єрного простору та нині є одним із ключових компонентів постмайнінгового ландшафту. На ранніх етапах затоплення водойма характеризувалася підвищеною мінералізацією та значним умістом сполук сірки. За даними досліджень, концентрація SO_4^{2-} у воді на різних глибинах становила 0,856–1,725 г/дм³, а концентрація H_2S на глибинах 30–72 м досягала 3,293–4,722 мг/дм³ [1]. Формування вертикальної гідрохімічної неоднорідності було пов'язане з процесами окиснення та відновлення сполук сірки, а також із водообміном між різними частинами водойми.

У подальшому в озері відбувалися процеси природного розбавлення, аерації та біогеохімічної трансформації сполук сірки. Надходження атмосферних опадів і поверхневого стоку, водообмін та сезонна циркуляція поступово змінювали початковий склад води. Сучасний стан водойми характеризується істотним послабленням проявів початкового техногенного впливу, що свідчить про поступову стабілізацію її гідрохімічного режиму. Водночас сформована водойма залишається важливим елементом регіональної гідрологічної системи та потребує постійного контролю якості води.

Особливого значення набуває трансформація сульфатного забруднення в басейні річки Шкло. За даними багаторічних спостережень, у прикордонному створі середньорічна концентрація сульфатів зменшилася з 961,3 мг/дм³ у 2000 р. до 177,5 мг/дм³ у 2005 р., тобто приблизно у 5,4 раза [2]. Така динаміка свідчить про істотне зниження сульфатного навантаження порівняно з початковим періодом формування Яворівського озера. Водночас зниження концентрацій не означає повного припинення техногенного впливу, оскільки в басейні зберігаються залишкові джерела забруднення та значні обсяги техногенно трансформованих порід і відкладів.

Сучасні дані моніторингу підтверджують збереження підвищеного вмісту сульфатів у р. Шкло. У створі поблизу Краковця середньорічна концентрація сульфатів у 2024 р. становила 350,0 мг/дм³, а під час окремого відбору проби 10.09.2024 р. — 449 мг/дм³. При нормативному значенні 100 мг/дм³ це відповідало перевищенню у 3,5 та 4,49 раза відповідно [3]. Отже, незважаючи на багаторічну позитивну динаміку, річкова система продовжує зазнавати впливу сульфатного навантаження.

Порівняння часових зрізів показує, що гідрохімічне відновлення не є лінійним процесом. Різке зниження концентрації сульфатів на початку 2000-х років змінилося періодом збереження підвищених значень. Це може бути пов'язано з повільним розвантаженням забруднених підземних вод, повторним надходженням розчинних компонентів із техногенних відкладів та сезонною мінливістю водного

стоку. Отже, сучасну якість води доцільно оцінювати не за окремим вимірюванням, а за багаторічним часовим рядом, що дає змогу відокремити короткочасні коливання від стійких тенденцій.

Гідрохімічна трансформація р. Шкло має транскордонне значення, оскільки річка є притокою Сяну та належить до басейну Вісли. Дослідження транскордонних вод Яворівщини засвідчили, що саме сульфати належать до компонентів, концентрації яких на окремих ділянках можуть перевищувати нормативні значення [2]. Тому сучасний стан річкової системи необхідно розглядати не лише як локальну екологічну проблему Яворівського району, а і як складову транскордонного управління водними ресурсами.

Окремої уваги потребують хвостосховища колишнього Яворівського ДГХП «Сірка», які залишаються потенційним джерелом вторинного надходження розчинних компонентів у підземні води. На відміну від Яворівського озера, де проявляються ознаки поступової гідрохімічної стабілізації, техногенно трансформовані відклади хвостосховищ можуть тривалий час зберігати здатність до вилуговування. Міграція розчинених компонентів визначається геологічною будовою, проникністю водоносних горизонтів та напрямками підземного стоку. Це обумовлює необхідність розглядати сучасний гідрохімічний стан території як результат не лише поточного, а й накопиченого техногенного впливу.

Геологічна будова території зумовлює неоднакову швидкість переміщення розчинених речовин у різних частинах водоносної системи. Малопроникні глинисті відклади можуть виконувати роль природного бар'єра та збільшувати час проходження забруднених вод. Натомість алювіальні піщані відклади долини р. Шкло створюють сприятливіші умови для латерального перенесення розчинених компонентів. Тому виявлення забруднення в річковому створі не обов'язково відповідає часу його безпосереднього надходження з поверхні, а може відображати відстрочений гідрогеохімічний відгук.

З огляду на це перспективним є поєднання регулярних гідрохімічних спостережень із аналізом часових рядів та гідрогеологічним моделюванням. Для сульфатів доцільно визначати напрям і статистичну значущість тренду, а також оцінювати часовий лаг між змінами в зоні техногенного джерела та реакцією річкової мережі. Такий підхід дозволяє перейти від фіксації окремих перевищень до оцінювання механізмів формування сучасного гідрохімічного режиму.

Таким чином, природно-техногенна система Яворівського сіркодобувного району характеризується диференційованою трансформацією її компонентів. Яворівське озеро демонструє ознаки поступової стабілізації та природного самоочищення, тоді як басейн р. Шкло продовжує реагувати на залишкове техногенне навантаження. Зниження середньорічної концентрації сульфатів у прикордонному створі з 961,3 мг/дм³ у 2000 р. до 177,5 мг/дм³ у 2005 р. свідчить про позитивну довготривалу тенденцію, однак значення 350,0 мг/дм³ у 2024 р. підтверджує збереження проблеми сульфатного забруднення.

Отримані результати обґрунтовують необхідність продовження довгострокового моніторингу Яворівського озера, хвостосховищ, підземних вод та річки Шкло. Пріоритетним напрямом є контроль зон потенційної міграції забруднювальних компонентів від техногенних об'єктів до долини р. Шкло та транскордонного створу біля Краковця. Поєднання гідрохімічного моніторингу з аналізом часових рядів і гідрогеологічним моделюванням дасть змогу точніше оцінити довготривалі наслідки постмайнінгової трансформації та розробити ефективні заходи екологічної безпеки басейну р. Шкло.

Список літератури:

1. Мороз О. М., Колісник Я. І., Подопригора О. І. та ін. Мікрофлора води озера Яворівське. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Біологія. 2008. Вип. 24. С. 131–138.
2. Паньків Р., Колодій В., Хованець Ю. та ін. Гідрохімічна характеристика транскордонних річок Яворівщини. Геологія і геохімія горючих копалин. 2009. № 2. С. 84–99.
3. Басейнове управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну. Дані моніторингу поверхневих вод р. Шкло, створ Краковець, 2024.

ОДНОРІГ З.С.[1], МАЄЦЬКИЙ М.М.[1], РОМАНЮК Л.М.[2] (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

СУЧАСНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ БУРОВОГО ШЛАМУ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

[1]National University "Lviv Polytechnics"
79013, S. Bandery Str., 12, Lviv Ukraine: zoryana.s.odnorih@lpnu.ua
[2]Lviv Vocational College of the Lviv National University of Nature Usage
79068,Zamarstinivska Str., 167

Abstract: The combined mechanical-chemical-biological method for treating drilling mud is a technically feasible and economically viable solution that meets current environmental standards and the principle of zero discharge. It ensures lower energy consumption compared to thermal technologies, reduces slurry volume by 85–90%, and classifies it as IV Class hazardous solid waste, making it suitable for use in reclamation projects. At the same time, up to 70% of the filtered water is returned to the drilling cycle, reducing the need for fresh water during the drilling fluid preparation and circulation system flushing stages.

Буровий шлам – це техногенна суміш залишків вибуреної породи із буровим розчином та продуктів амортизації бурильного обладнання нафтогазовидобувних свердловин. Така суміш містить підвищений вміст солей, органічних речовин і важких металів, що свідчить про потенційну небезпеку для складових навколишнього середовища, в першу чергу – ґрунтових вод чи поверхневих водних об'єктів.

Тому під час розроблення Звіту ОВД та тому «ОВНС» на етапах проектування необхідно враховувати специфіку просторового планування. Плановану діяльність необхідно розміщувати за межами водоохоронних зони і водно-болотних угідь. Важливим фактором забезпечення захисту полягає в формуванні локального багатошарового фізико-хімічного бар'єру на шляху міграції агресивних токсичних компонентів завдяки виположуванню глинистими матеріалами. Екологічна оцінка якості підземних і поверхневих вод, аварійні плани ліквідації витоків та участь громадськості у прийнятті рішень забезпечують додатковий рівень захисту.

Застосовують типові для галузі нафтовидобутку методи поводження із буровим шламом - такі як тривале зберігання в амбарах-накопичувачах, закачування в поглинаючі горизонти, інженерна солідизація на промисловому полігоні, термічне знешкодження. До основних недоліків таких методів треба віднеси високу вартісність процесів, енергоємність, необхідність облаштування на обширних територіях із постійним довгостроковим геомоніторингом, відсутність можливості повторного використання.

Розглядається оптимальний комбінований механіко-хіміко-біологічний метод утилізації бурового шламу. Він полягає у здійсненні стабілізації завдяки внесенню коагулянтів, біорозкладі органічних домішок біопрепаратом «Еконадін». Отримані такі показники бурового шламу: матеріал із вологістю 25-35%, кислотністю в межах 7-8, вміст нафтопродуктів в межах < 500 мг/кг, важкі метали знаходяться у зв'язаній малорухомій формі.

Затверділа маса в подальшому може використовуватися в якості техногрунту в процесах рекультивації промислових майданчиків. Клас небезпеки - IV (малонебезпечний)

Представлена принципова технологічна схема забезпечує зменшення обсягів шламу на 40–50%. В залежності від етапу проведення процесу буріння, технологічних потреб виробництва та нормативних вимог можливим є повторне використання до 70 % очищеної води. До виробничих потреб галузі можна віднести приготування нового бурового розчину, скерування на етап промивання циркуляційних систем, зрошування майданчика планованої діяльності, накопичення технічної води у пожежних резервуарах.

Кошторисні витрати запропонованого методу залежать від завантаженості комплексу. Термін очищення бурового шламу на одній свердловині становить близько трьох місяців, відповідно обладнання можна використовувати для очищення бурового шламу на кількох свердловинах протягом року. Тому якщо комплекс завантажено не однією, а 3-4 свердловинами на рік, тоді собівартість очищення знижується.

У результаті формується ефективна замкнена система очищення бурових стоків, що відповідає сучасним екологічним вимогам і принципу сталого розвитку.

ІГНАТОВ А.О., АСКЕРОВ І.К., ШУМОВ А.С., ЛІТВІНОВ Я.М. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗВОРОТНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49027, просп. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна

Abstract. The paper considers the environmental and technological aspects of reverse circulation of drilling fluid during well construction. The scheme with suction effect and air injection is analyzed, with emphasis on localization of the cuttings-laden flow, controlled removal of drilling waste, fluid clarification and reuse. The main advantages include improved bottom-hole cleaning, reduced fluid losses and lower risk of formation damage. Environmental limitations are associated with leakage, waste generation, water consumption and the need for reliable monitoring and sealed circulation systems.

В процесі буріння свердловин різного промислового призначення прийнята до застосування система циркуляції промивальної рідини виконує не лише технологічну, а й важливу природоохоронну функцію, оскільки безпосередньо впливає на характер винесення вибуреної породи, обсяги утворення шламовмісної рідини, умови її наступного очищення, повторного використання та подальшого поводження з небезпечними буровими відходами. За позначених умов особливий інтерес становить еколого-технологічний аналіз застосування зворотної циркуляції, за якої забруднений потік промивальної рідини разом із частинками вибуреної породи транспортується від вибою до поверхні по внутрішньому каналу бурильної колони (рис. 1).

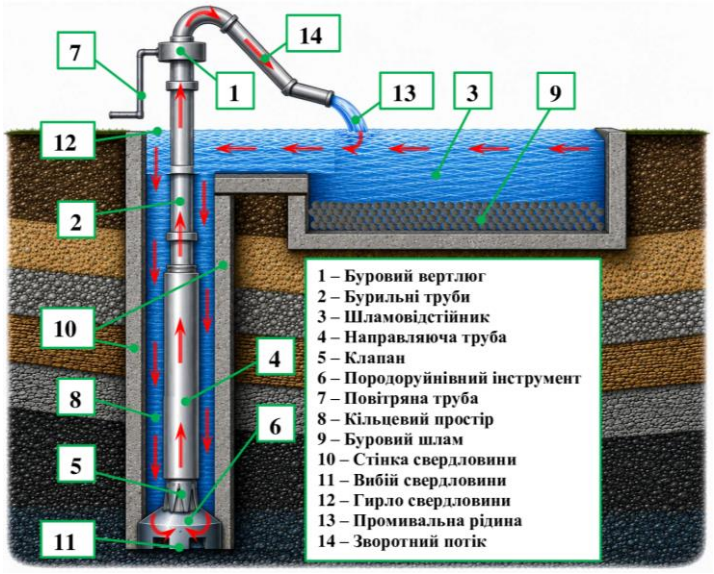


Рис. 1. Схема зворотної циркуляції промивальної рідини в свердловині.

Схема зворотної циркуляції з ефектом всмоктування, реалізованого за допомогою зниження густини висхідного потоку при нагнітанні через повітряну трубу 7 стисненого повітря, представлена на рис. 1. Розглядувана схема забезпечує подавання промивальної рідини 13 до вибою свердловини 11, на якому знаходиться породоруйнівний інструмент 6, кільцевим простором 8 між бурильними трубами 2, а також привибійною направляючою трубою 4 та стінками свердловини 10, тоді як зворотний потік 14 промивальної рідини, насичений частинками вибуреної породи – буровим шламом 9, транспортується до поверхні по внутрішній порожнині направляючої труби 4 і бурильних труб 2. З екологічної позиції важливою особливістю такої організації промивки є локалізація найбільш забрудненого шламовмісного потоку всередині бурильної колони, що значно полегшує його спрямоване відведення до шламовідстійника 3, наступну сепарацію та подальше повторне використання промивальної рідини. Додаткове значення має застосування клапана 5 для недопущення витоку промивальної рідини з 4 і 2 та спеціального сальникового пристрою – бурового вертлюга 1, встановлюваного над гирлом свердловини 12, який забезпечує обертання та осьове переміщення бурильних труб 2. Отже, зворотна циркуляція може розглядатися не лише як спосіб підвищення ефективності очищення вибою, а й як елемент більш контрольованої системи поводження з промивальною рідиною та буровими відходами.

До основних технологічних та експлуатаційних переваг буріння зі зворотною циркуляцією промивальної рідини належать такі: 1) збереження природних фільтраційних властивостей водоносних і продуктивних горизонтів завдяки зменшенню кольматації порового простору та оперативному видаленню вибуреної породи з вибою, що сприяє підвищенню дебіту та збільшенню терміну експлуатації свердловини; 2) забезпечення суттєвого підвищення механічної швидкості проходки порівняно з роторним бурінням із прямою промивкою, яка за певних умов може зростати у декілька разів; 3) поява можливості споруджувати свердловини великого діаметра (до 1,5 м), що сприяє збільшенню їх продуктивності та підвищенню дебіту; 4) створення умов формування потужнішої гравійної обсипки фільтра для випадку гідрогеологічних і геотехнологічних свердловин, що зменшує інтенсивність їх піскування, підвищує їх експлуатаційну надійність і подовжує термін служби (при цьому спрощується процес облаштування свердловини завдяки можливості вільного засипання гравійного матеріалу з поверхні); 5) забезпечення ефективного очищення вибою свердловини завдяки високій швидкості висхідного потоку промивальної рідини за порівняно невеликих витрат на її прокачування та знижених гідравлічних втратах; 6) сприяння покращенню умов формування керна, підвищенню його виходу та створення можливості безперервного транспортування кернового матеріалу на поверхню без піднімання бурового снаряда; 7) зменшення ймовірності виникнення аварійних ситуацій, пов’язаних із руйнуванням нестійких порід стінок свердловини під дією потоку промивальної рідини; 8) зниження втрат промивальної рідини під час буріння із застосуванням конструкції подвійної колони бурильних труб.

Проте з екологічної точки зору ефективне застосування технології буріння зі зворотною промивкою потребує організації контрольованого водообороту та недопущення неконтрольованого надходження промивальної рідини і бурового шламу в навколишнє середовище. Однією з важливих умов є залягання рівня ґрунтових вод на глибині понад 3 м від поверхні землі, що зменшує ризик їх безпосереднього забруднення технологічними рідинами під час виконання бурових робіт. Безперебійне забезпечення свердловини промивальною рідиною доцільно організовувати з використанням спеціально облаштованого відстійника або технологічної ємності, які забезпечують накопичення, відстоювання та очищення рідини від частинок вибуреної породи з можливістю її повторного залучення до циркуляційного циклу.

Поблизу гирла свердловини також необхідно передбачати окремий відстійник для приймання та освітлення пульпи, що надходить зі свердловини. Така організація технологічного процесу сприяє локалізації бурових відходів, відокремленню твердої фази, зменшенню обсягів скидання забрудненої рідини та скороченню потреби у свіжій воді. Водночас використання природної водойми як безпосереднього джерела промивальної рідини потребує особливої екологічної обережності, оскільки неконтрольований водозабір або зворотне потрапляння забрудненої рідини може створювати додаткове недопустиме навантаження на водне середовище.

До основних еколого-технологічних обмежень буріння зі зворотною циркуляцією промивальної рідини належать підвищені вимоги до герметичності обладнання та надійності сальникових ущільнень, зношування яких може спричиняти витоки технологічної рідини і, відповідно, локальне забруднення бурового майданчика. Технологія потребує постійного підтримання необхідного рівня промивальної рідини у свердловині та контролю її балансу, особливо у складних гідрогеологічних умовах. Додатковим фактором є необхідність застосування спеціалізованого обладнання для створення й підтримання зворотного потоку, що збільшує енерго- та ресурсомісткість процесу. У нестійких і набухаючих породах можливі ускладнення транспортування шламу, порушення стійкості стовбура і циркуляційного режиму, що може призводити до зростання обсягів відпрацьованої рідини та бурових відходів. На значних глибинах додатково ускладнюється контроль параметрів циркуляції, тому екологічна безпечність технології значною мірою залежить від своєчасного моніторингу втрат, герметичності системи, стабільності потоку та організованого очищення промивальної рідини.

Вдячність. Представлені результати отримано в межах виконання науково-дослідної роботи ІТ № 2 «Обґрунтування та оптимізація технологічних і екологічних аспектів процесу спорудження свердловин» (№ держреєстрації 0126U004113), що виконується за підтримки Міністерства освіти і науки України.

Список літератури:

1. Павличенко, А. В., Коровяка, Є. А., & Ігнатов, А. О. (2023). *Дослідження гідравлічних основ циркуляції технологічних рідин*. Журфонд.
2. Ihnatov, A. O., Aziukovskyi, O. O., Stavychnyi, Y. M., Rybachuk, S. A., Askerov, I. K., & Sala, D. (2025). Development of promising technological solutions in the construction wells. *Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu*, (3), 65–74.

Семінар 3 **Seminar 3**

SANDUL O.[1], GORDIENKO O.[1], RANSKIY A.[1], DIDENKO N.[2],
DRZEZDZON J.[3] (UKRAINE, VINNYTSIA, POLAND, GDANSK)

SORPTION REMOVAL OF ZINC IONS FROM RINSE WATER IN THE ZINC PLATING PROCESS USING A MIXED SORBENT

[1]Vinnytsia National Technical University,
21021, 95 Khmelnytske Shose, Vinnytsia, Ukraine; sandulola11@gmail.com
[2]Vinnitsa National Medical University,
21018, 56 Pirogov Street, Vinnitsa, Ukraine;
[3]University of Gdańsk, 63 Wita Stwosza Street, 80-308, Gdańsk, Poland

Abstract. A comprehensive process for the regeneration of spent mixed sorbent activated charcoal + kieselguhr (AC + K) has been developed. The removal of Zn^{2+} ions from the rinse water of electroplating plants using the modified sorbent (AC + K) NaDTC has been investigated.

Electroplating processes (zinc plating, chrome plating, copper plating, gold plating, silver plating, etc.) involve applying a layer of another metal to the surface of a product or workpiece. Such operations generate significant quantities of rinse water and sludge containing heavy metals such as cadmium, zinc, lead, chromium, nickel, copper and others. Consequently, electroplating plants are among the most hazardous sources of environmental pollution due to the presence of highly toxic pollutants in the rinse water. The pressing issue of liquid waste from electroplating plants has led to the introduction of various wastewater treatment technologies. Common methods for removing heavy metals from wastewater include chemical precipitation, flotation, adsorption, ion exchange, electrochemical precipitation and combinations thereof.

This study investigated the removal of Zn^{2+} ions from galvanizing rinse water using mixed sorbent modified by Na-salt of diethyldithiocarbamic acid (AC + K) NaDTC. A mixture of sorbents consisting of activated charcoal (AC) and kieselguhr (K) (manufactured by E. Begerow GmbH & Co, Germany) previously had been used in the production of soft drinks at the private enterprise "Production Firm «PANDA» (Vinnytsia).

Kieselguhr (K) Becogur 200 and Becogur 3500 is a natural, white-colored silica/SiO_2 that is insoluble in water; particles of size (< 0.1 mm) ≥ 85 %; its melting point is 1400–1650 °C. According to X-ray diffraction studies, the sorbent (Becogur 200 and Becogur 3500) consists of two main phases: cristobalite (85–95 %), *α*-quartz (3–6 %), an amorphous phase (3–15 %) and traces of kaolin. The main component of activated charcoal (AC) consists of amorphous graphite, which has a highly porous structure and is characterised by the presence of micropores with an effective diameter of ≤ 2 nm.

The spent sorbent (AC + K) was regenerated by washing it in stages with water at 40–50 °C for 45–60 minutes; boiling with a 1 % alkali solution (KOH/NaOH) and a 3.5–4.0 % mineral acid solution (HNO_3/HCl) for one hour, followed by filtration and drying at room temperature to constant weight. The effectiveness of regeneration was monitored by determining the sorption capacity by iodine. Regeneration of the sorbent made it possible to increase the sorption capacity from 51.2 % (for spent sorbent) to 100.0 %, i.e. to practically achieve the sorption capacity of «fresh» mixed sorbent prior to its use in the technological process.

The modified regenerated sorbent (AC + K) was prepared by treating it with a solution of sodium diethyldithiocarbamate whilst stirring at room temperature for one hour, allowing the reaction mixture to stand for 24 hours, filtering it, and drying the modified sorbent at room temperature to a constant mass.

The possibility of reusing the regenerated (AC + K) and modified (AC + K) NaDTC mixed sorbents for the treatment of rinse water from the galvanizing process of steel products was investigated. At an initial concentration of Zn^{2+} ions of 700 mg/dm^3 in the rinse water, the use of the modified sorbent (AC + K) NaDTC, compared with the regenerated (AC + K) sorbent, made it possible to increase the degree of metal ion removal from 27.9 % to 65.0 % (that is, by a factor of 2.33) and to reduce the sorbent dosage by a factor of 1.7.

The investigated technology for regenerating the mixed sorbent made it possible not only to reuse it effectively in the production process of soft drinks, but also to apply its modified form (AC + K) NaDTC as an effective sorbent for the removal of Zn^{2+} ions from rinse water in electroplating plants.

БРЕДУН В.І., СОКОЛЯНСЬКА А.Д., М'ЯКОТІНА К.О. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА)

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», просп. Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011, Україна; e-mail: nning.bredunvi@nupp.edu.ua

Abstract The paper considers the principles of digitalization of municipal solid waste management as an indicator of system efficiency. The integral technological feasibility index, which combines the route logistics inefficiency coefficient (km/t) and the container fleet utilization coefficient, is used to identify where digital monitoring is economically justified. The approach was tested in the Dykanka and Hoholeve territorial communities of Poltava region. Routes for mixed waste were found to operate within the norm (index 0.08–0.23), whereas routes for separately collected recyclables show index values up to 0.62, which justifies the use of IoT, RFID and GNSS solutions. Six principles of digitalization are formulated.

Сучасні підходи до управління твердими побутовими відходами (ТПВ) у європейських країнах все частіше переорієнтовуються на перехід від фіксованих графіків вивезення відходів до обслуговування за фактом їх накопичення, що узгоджується з вимогами законодавства ЄС та України щодо поводження з відходами [1; 2]. Технологічною основою, яка забезпечує такий перехід є IoT-датчики рівня наповнення, RFID-ідентифікація контейнерів, GNSS-телематика спецтранспорту та енергоефективні мережі LoRaWAN [3–5]. Проте, для сільських і селищних громад із низькими обсягами накопичення ТПВ застосування цих технологій потребує обґрунтування, оскільки застосування цифрових рішень без урахування місцевих умов не гарантує підвищення рентабельності процесу збирання ТПВ. Метою роботи є формулювання принципів цифровізації, за яких кількісний показник технологічно-логістичної процесу збирання ТПВ виступає індикатором ефективності планування системи управління відходами та підставою для вибору технологічного рішення.

Кожна з технологій має своє значення в підвищенні ефективності планування місцевих та регіональних систем поводження з відходами. Ультразвукові та оптичні (ToF) датчики визначають рівень наповнення контейнера й дають змогу перейти до збирання за фактичним станом; мережі LoRaWAN забезпечують автономну роботу кінцевих пристроїв до 7–10 років без заміни живлення; UHF RFID слугує засобом операційної та юридичної верифікації обслуговування; GNSS-телематика в поєднанні з даними бортових систем спецтехніки є основою для динамічної маршрутизації (VRP), яка, за оцінками, скорочує пробіг техніки на 15–20% [3; 4].

Разом із тим в Україні застосування зазначених вище технологій стримують висока вартість обладнання, ризики вандалізму та значний вміст органіки в ТПВ, що вимагає корозійної стійкості пристроїв, тому вибір рішень має ґрунтуватися на аналізі кількісних показників.

Як індикатор обрано інтегральний індекс технологічної доцільності $I_{тд}$ [8; 10], що поєднує логістичну та технологічну (контейнерну) складові неефективності процесу збирання ТПВ:

$$I_{тд} = 0{,}5 \cdot \max(0;\ 1 - 20/K_{лн}) + 0{,}5 \cdot (1 - K_{ек}), \qquad (1)$$

де $K_{лн} = \Sigma L/\Sigma Q$ – коефіцієнт логістичної неефективності, км/т (ΣL – сумарна довжина маршрутів, ΣQ – маса зібраних відходів; нормативний рівень – 20 км/т); $K_{ек} = \Sigma V_{роз}/\Sigma V_{факт}$ – коефіцієнт ефективності використання контейнерного парку (відношення розрахункового до фактично встановленого об'єму контейнерів). Індекс змінюється від 0 до 1: значення до 0,15 свідчать про високу ефективність системи, 0,15–0,30 – про незначні втрати та доцільність точкової оптимізації, 0,30–0,50 – про доцільність впровадження цифрових рішень, понад 0,50 – про економічну обґрунтованість комплексної цифровізації.

Методику апробовано на двох громадах Полтавської області. У Диканській громаді (435 контейнерних майданчиків) значення $K_{ек} < 0{,}5$ зафіксовано для 55 майданчиків збору змішаних відходів, 158 – скла та 147 – пластику [6; 9]. Маршрути збору змішаних ТПВ мають $K_{лн}$ 2,8–18,3 км/т та $I_{тд}$ 0,08–0,16, тобто працюють у межах нормативу й не потребують негайної цифровізації. Натомість для маршрутів роздільного збору $K_{лн}$ досягає 118,8 км/т (перевищення нормативу у 5–6 разів), а $I_{тд}$ – 0,42. У Гоголівській громаді (164 майданчики смт Гоголеве) $K_{ек} < 0{,}5$ мають 34 майданчики змішаних відходів, 128 – скла та 96 – пластику [7; 9]; для маршрутів збору пластику й паперу $K_{лн}$ становить 63,7–116,0 км/т, а $I_{тд}$ – 0,50–0,62, тоді як для змішаних відходів та скла $I_{тд}$ = 0,17–0,23.

Узагальнення результатів дає змогу сформулювати базові принципи цифровізації як фактор підвищення ефективності місцевих і регіональних систем управління відходами в громадах

Полтавської області. Принцип кількісної верифікації: рішення про впровадження технологій ухвалюється за значенням індексу, а не суб'єктивно. Принцип диференціації: тип технології визначається причиною втрат – за низького $K_{ек}$ доцільні датчики наповнення та RFID/QR-ідентифікація контейнерів, за високого $K_{лн}$ – GPS-моніторинг, ГІС і динамічна маршрутизація (VRP), за одночасного прояву обох проблем – інтегрована система з єдиною диспетчеризацією. Принцип обслуговування за фактичним станом: перехід від стаціонарних маршрутів до вивезення за запитом при досягненні рівня наповнення контейнера понад 75%. Принцип адресності: цифровізація направлена приорітетно на менш ефективні процеси (у досліджених громадах – роздільне збирання вторинної сировини), а ефективні маршрути змішаних ТПВ не є пріоритетом. Принцип цілісності й безпеки даних: шифрування каналів передачі та верифікація факту обслуговування за даними RFID і GNSS забезпечують прозорість взаєморозрахунків і створюють підґрунтя для тарифу за принципом «плати за те, що викидаєш» (PAYT). Принцип масштабу й адаптивності: індекс періодично перераховують за результатами впровадження, а об'єднання громад у кластери зменшує питомі витрати на обладнання. Дані принципи можуть бути застосовані і до інших сільських, селищних та деяких міських громад України.

Для Диканської громади ($S \approx 682$ км²) за цими принципами запроєктовано трирівневу систему: 360 датчиків заповнення й RFID-міток для майданчиків із $K_{ек} < 0{,}5$, три шлюзи LoRaWAN та п'ять комплектів обладнання (GPS-трекер і RFID-зчитувач) для спецтехніки. Необхідну суму інвестицій оцінено у 1,23 млн грн, очікувана річна економія – близько 0,4 млн грн, строк окупності – близько трьох років [6].

Висновки. Індекс $I_{тд}$ виконує функцію індикатора ефективності системи управління відходами: він локалізує втрати за типами, визначає пріоритетність і склад цифрових технологій та дає змогу порівнювати системи різного масштабу. В обох досліджених громадах цифровізація найдоцільніша у при роздільному збиранні, тоді як маршрути змішаних ТПВ є достатньо ефективними.

Список літератури:

1. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. (2008). Official Journal of the European Union, L 312, 3–30.
2. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20
3. Hannan, M. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Basri, H., & Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. Waste Management, 43, 509–523.
4. Sosunova, I., & Porras, J. (2022). IoT-enabled smart waste management systems for smart cities: A systematic review. IEEE Access, 10, 73326–73363.
5. LoRa Alliance. (2018). LoRaWAN 1.0.3 specification. LoRa Alliance Technical Committee.
6. Соколянська, А. Д. (2026). Розробка проєкту впровадження цифрових технологій моніторингу ТПВ в систему управління відходами Диканської територіальної громади [Кваліфікаційна робота]. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».
7. М'якотіна, К. О. (2026). Розробка проекту системи збору твердих побутових відходів Гоголівської громади [Кваліфікаційна робота]. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».
8. Бредун, В. І. (2026). Методологія аналізу технологічно-логістичної доцільності цифровізації систем управління відходами місцевого рівня. У Тези 78-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 15–22 трав. 2026 р.) (Т. 1, с. 331–332). Національний університет імені Юрія Кондратюка.
9. Бредун, В. І., Соколянська, А. Д., & М'якотіна, К. О. (2026). Аналіз ефективності планування схем збирання ТПВ на прикладі Диканської та Гоголівської громад. У Тези 78-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 15–22 трав. 2026 р.) (Т. 1, с. 333–334). Національний університет імені Юрія Кондратюка.
10. Бредун, В., & Бредун, А. (2026). Методика визначення критеріїв доцільності та можливості впровадження систем цифрового моніторингу ТПВ в сільських і селищних громадах. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 365(3), 195–199. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-29

СТАСЕВИЧ С.П., ШУЛАКОВ О.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНУ РІЧКИ ДНІСТЕР В СУЧАСНИХ УКРАЇНСЬКИХ РЕАЛІЯХ

Національний університет "Львівська політехніка"
79013, вул. Степана Бандери, м. Львів, 12, Україна; coffice@lpnu.ua

Abstract. Regarding the current state of the environment, the condition of water resources remains one of the most pressing ecological issues. Rivers are vital natural assets that provide the population with drinking water, sustain natural ecosystems, support economic activities, and play a significant role in the socio-economic development of regions. However, intensive industrial and agricultural development, along with urbanization, leads to the deterioration of surface water quality, which negatively affects both ecosystems and public health.

На даний час проблема стану водних ресурсів є досить важливою. Вода використовується людиною практично у всіх сферах діяльності, а річки мають велике значення не тільки для водопостачання, але і для природних екосистем. Проте через розвиток промисловості, сільського господарства, збільшення населених пунктів та інші види господарської діяльності навантаження на річки постійно зростає. Це може приводити до погіршення якості води та зміни природного стану водних екосистем.

Однією з важливих річок України є Дністер. Його басейн має велике значення для західних областей України, оскільки води використовуються для водопостачання населення, господарських потреб, сільського господарства та рекреації. Крім цього, річка має важливе значення для збереження природних екосистем. Разом з тим басейн Дністра зазнає антропогенного впливу, який проявляється по різному на окремих його ділянках. Основними причинами такого впливу є надходження стічних вод від населених пунктів і підприємств, сільськогосподарський стік, урбанізація територій та інші фактори. В окремих випадках до водних об'єктів можуть потрапляти недостатньо очищені стічні води, що впливає на хімічний склад води. Тому для визначення реального стану річки необхідно проводити регулярні спостереження та аналізувати результати моніторингу.

Для проведення дослідження були використані дані державного моніторингу вод. Аналіз проводився за такими показниками як загальний азот, амонійний азот, нітрати, нітрити, фосфати, сульфати, хлориди та розчинений кисень. Отримані значення порівнювалися з нормативними показниками. Це дозволило визначити ділянки, де показники якості води знаходяться у допустимих межах, а також території, на яких спостерігаються певні відхилення.

Проведений аналіз показав, що екологічний стан водних об'єктів у басейні Дністра не є однаковим на всій досліджуваній території. Більшість досліджених ділянок можна охарактеризувати як такі, що мають відносно задовільний стан. Разом з тим є ділянки, де антропогенне навантаження є більшим і тому вони потребують більшої уваги та подальшого контролю. На стан води можуть впливати населені пункти, промислові об'єкти, сільськогосподарські території та інші джерела антропогенного навантаження.

При проведенні такого дослідження важливо враховувати не тільки самі числові значення показників, але і місце, де вони були отримані. Зміна концентрації певної речовини може бути пов'язана з розташуванням населеного пункту або іншого потенційного джерела забруднення. Тому для аналізу екологічного стану басейну доцільно використовувати геоінформаційні технології, які дозволяють поєднати результати моніторингу з їх географічним розташуванням.

У роботі розглянуто сучасні геоінформаційні системи, які використовуються для моніторингу водних ресурсів, аналізу екологічного стану річок та візуалізації просторових даних. Проведений аналіз показав, що використання ГІС дозволяє більш зручно працювати з великою кількістю екологічної інформації та одночасно враховувати просторове розташування пунктів спостереження. Для басейнів річок це має особливе значення, оскільки якість води може змінюватися в залежності від умов на конкретній ділянці.

У зв'язку з цим у роботі було виконано проєктування та реалізацію інтерактивного вебдодатка для екологічного моніторингу якості поверхневих вод басейну річки Дністер. Основною ідеєю розробки було зробити роботу з результатами моніторингу більш наочною та зручною. Розроблена система поєднує картографічне відображення пунктів спостереження з можливістю перегляду та аналізу відповідних екологічних показників.

В основу вебдодатка покладено HTML, CSS та JavaScript. За рахунок цього вдалося створити

автономний програмний продукт, який не потребує окремого серверного програмного забезпечення для виконання основних функцій. Дані про моніторингові пункти, їх координати та результати спостережень можуть зберігатися безпосередньо в структурі вебдодатка. Таким чином, фактично створено невелику веб-ГІС, яка орієнтована саме на роботу з екологічними даними річкового басейну.

За допомогою розробленої системи можна відображати пункти моніторингу на карті, переглядати значення окремих показників якості води та порівнювати їх з нормативними значеннями. Крім цього, система дає можливість аналізувати зміни показників у часі. Це дозволяє бачити не тільки окреме значення в певному пункті, але і простежувати, як воно змінювалося у різні періоди. Накопичення таких даних у подальшому дає можливість проводити порівняння між роками та визначати ділянки, де зміни є найбільш помітними.

Для того щоб користувач міг швидше оцінити загальну ситуацію, у вебдодатку використовується кольорова індикація. Вона є одним із основних елементів візуального представлення результатів. Її використання дозволяє не переглядати відразу всі числові значення, а спочатку отримати загальне уявлення про стан конкретної ділянки. Зелений колір використовується для позначення сприятливого або відносно задовільного стану, коли основні показники знаходяться у межах установлених нормативів. Жовтий колір відповідає проміжному стану, коли спостерігаються певні відхилення від нормативних значень. Червоний колір використовується у випадках, коли виявлені значні відхилення показників якості води і ділянка потребує більшої уваги. Таким чином, кольорове позначення фактично узагальнює великий обсяг інформації і дозволяє швидко побачити проблемні місця. Це особливо зручно тоді, коли на карті одночасно відображається велика кількість пунктів моніторингу. Користувачу не потрібно відкривати кожен пункт окремо, щоб приблизно оцінити ситуацію.

Ще однією особливістю системи є її автономність. Для роботи основних функцій не потрібні Node.js, PHP, Python або інші серверні технології. Вебдодаток може запускатися безпосередньо на комп'ютері користувача. Це може бути корисним під час польових досліджень, коли постійний доступ до Інтернету не завжди можливий. За умови попереднього завантаження необхідних ресурсів частину функцій можна використовувати локально. Система також має адаптивний інтерфейс, тому її можна використовувати на різних пристроях: вебдодаток може відкриватися як на звичайному комп'ютері, так і на планшеті або смартфоні. Це є досить зручним під час роботи безпосередньо на території дослідження.

Структура вебдодатка дозволяє змінювати набір моніторингових даних та координати пунктів без необхідності повністю переписувати програмну логіку. Тому такий підхід може бути використаний не тільки для Дністра, але і для інших річкових басейнів України. Наприклад, після заміни відповідних даних систему можна адаптувати для моніторингу Пруту, Південного Бугу, Десни або інших річок.

Використання відкритих екологічних даних також створює можливості для подальшого розвитку вебдодатка. При надходженні нових результатів моніторингу вони можуть додаватися до інформаційної бази системи. У перспективі це дозволяє збільшувати кількість пунктів спостереження, показників та часових рядів, а також розширювати аналітичні можливості.

На основі даних державного моніторингу вод було проведено аналіз основних показників якості поверхневих вод басейну Дністра. Особливу увагу приділено їх просторовому розподілу та виявленню ділянок, де спостерігається більший антропогенний вплив. Проведений аналіз показав, що для оцінки стану водних об'єктів важливо постійно контролювати вміст біогенних речовин, показники органічного забруднення та стан кисневого режиму.

Розроблена інформаційна система забезпечує відображення пунктів моніторингу, представлення результатів спостережень та їх оперативний аналіз. Поєднання картографічної інформації з гідрохімічними показниками робить результати більш наочними та дозволяє швидше визначати ділянки, які потребують додаткової уваги. При цьому система може використовуватися як основа для подальшого накопичення та аналізу моніторингових даних.

Таким чином, проведене дослідження дозволило оцінити сучасний стан поверхневих вод басейну Дністра та показало доцільність використання геоінформаційних технологій для роботи з екологічною інформацією. Розроблений вебдодаток може бути використаний для подальшого моніторингу водних ресурсів, а також розширений за рахунок нових показників, пунктів спостереження та часових рядів. Отримані результати можуть бути корисними для природоохоронних установ, організацій, що займаються управлінням водними ресурсами, а також у навчальній і науковій роботі.

МАЦАК А.О. НЕІСАЛО І.В. МАСЛОВСЬКИЙ К.С. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОЧИЩЕННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ

Технічний Університет «Метінвест політехніка»
69008, вул. Південне шосе, 80, м. Запоріжжя, Україна
anton.matsak@mipolytech.onmicrosoft.com

Abstract. The infiltration systems, are increasingly used to decrease urban stormwater runoff, leveraging specific plant species to reduce flow volumes and remove pollutants. Despite their high efficacy, these phytoremediation systems face operational limitations related to climatic variability, physical clogging, and the potential leaching of dissolved components. Consequently, future research must prioritize the optimization of multi-species plant communities for targeting emerging contaminants, alongside long-term modeling of pollutant dynamics and biomass accumulation.

Дощовий стік з урбанізованих територій є одним із основних джерел забруднення поверхневих вод та ґрунтів. Для зменшення негативного впливу дощового стоку, і швидкого їх відведення застосовуються технології інфільтрації такі як: біотраншеї, резервуари утримувачі поверхневого стоку, мульди та зелені дахи (green roofs) які все більше набирають популярності в щільнозабудованих територіях [1]. За даними польових досліджень [2], такі системи в середньому зменшують об'єм стоку на 63 %, пікові витрати на 74 %, а навантаження по зважених речовинах знижується майже на 80 %.

Ґрунтовий покрив з зеленими насадженнями виконує ряд певних функцій: гіперакумулювання значно підвищують вилучення розчинених металів (наприклад, Armeria maritima); види з глибокою та розгалуженою кореневою системою (осоки Carex spp., очеретянка) краще забезпечують видалення азоту завдяки створенню аеробно-анаеробних зон для нітрифікації-денітрифікації; рослини з високою швидкістю росту та щільною кореневою системою сприяють стабільнішому видаленню фосфору та запобігають вимиванню під час посушливих періодів [3].

У польових умовах біотраншеї у районі затоки Сан-Франциско знижували концентрації 21 різних забруднювачів (включаючи ртуть і новітні забруднювачі) на 90 % і більше. Мульди з рослинним покривом демонструють високу ефективність (>80 %) щодо більшості органічних мікрозабруднювачів, де домінуючими механізмами є адсорбція (для гідрофобних сполук) та біодеградація (для гідрофільних) [3].

Основними обмеженнями використання рослин залишаються:

- варіабельність ефективності видалення розчинених компонентів (наприклад сполук фосфору, іноді спостерігається навіть винос),
- залежність від кліматичних умов і режиму зволоження, ризик кольматації під час завищених концентрацій завислих речовин, а також необхідність регулярного догляду (видалення біомаси).

Подальшими дослідженнями є перспективні напрямки: адаптація місцевих видів рослин до умов біоретенційних систем; дослідження впливу мультифункціональних рослинних угруповань на видалення як традиційних (метали, група азоту, фосфор), так і нових забруднювачів (мікропластик, фармацевтичні речовини); моделювання довгострокової динаміки накопичення забруднювачів у рослинній біомасі та інфільтраційних системах.

Список літератури:

1. Sabbagh, M., Browne, D., Pickering, L., Lintern, A., & Winfrey, B. (2025). Urban stormwater bioretention reduces runoff and improves water quality: A global meta-analysis of field studies. Journal of Hydrology, Article 134163. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134163
2. Zheng, Z., Shi, B., McCarthy, D., Deletic, A., Le-Clech, P., Khan, S., Fletcher, T. D., Hancock, M., & Zhang, K. (2025). Organic micropollutant removal in stormwater: A review of treatment performance. Environmental Science: Water Research & Technology, 11(10), 2274–2294. https://doi.org/10.1039/d5ew00306g
4. Bonciarelli, L., Orlandi, F., Muscas, D., & Fornaciari, M. (2025). Sustainable stormwater management and bioretention: An overview of reviews of the last 10 years. Land, 14(4), Article 736. https://doi.org/10.3390/land14040736

ЛОМАЗОВ П.К., ПАВЛИЧЕНКО А.В. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, просп. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна
lomazov.pa.k@nmu.one, pavlichenko.a.v@nmu.one

Abstract. A conceptual approach is proposed for using environmental impact assessment findings to plan enterprise environmental modernisation. It links binding environmental conditions to technical measures, costs and performance indicators. A matrix relates impacts to mitigation options, monitoring parameters and secondary effects. The approach prioritises compliance and compares eligible options by environmental and economic criteria. Absolute and production-specific indicators support verification of outcomes. Validation using enterprise data is required.

Мета роботи - визначити порядок використання матеріалів оцінки впливу на довкілля (ОВД) для планування модернізації підприємств. На основі аналізу Закону України [1] та європейських рекомендацій [2] запропоновано поєднати екологічні умови, технічні заходи й показники результативності в єдиному плані.

Планування охоплює п’ять етапів: визначення суттєвих впливів; виокремлення обов’язкових екологічних умов; порівняння технічних рішень; установлення бюджету, строків і відповідальних; перевірку результатів та коригування заходів.

Для зіставлення впливів, заходів і показників контролю запропоновано матрицю (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця використання результатів ОВД для планування модернізації

Вплив	Захід модернізації	Показники контролю	Супутні наслідки
Викиди пилу	Аспірація, пиловловлювання	Викиди, т/рік і кг/т продукції	Енерговитрати; вловлений пил
Забруднені стічні води	Очищення, повторне використання води	Маса скиду речовин, кг/рік; водозабір, м³/рік	Осад; витрати реагентів
Виробничі відходи	Зміна технології, роздільне збирання	Відходи, кг/т продукції; частка відновлення, %	Якість вторсировини; залишки оброблення
Шум	Звукоізоляція, екранування	Рівень шуму в контрольних точках, дБА	Вентиляція; обслуговування

Для показників установлюють базові й цільові значення, джерела даних та періодичність контролю. Абсолютні й питомі величини оцінюють одночасно: скорочення викидів на одиницю продукції може супроводжуватися зростанням їх загальної маси через збільшення випуску. Порівняння виконують за зіставних режимів роботи; для показників стану довкілля враховують фонові джерела та метеорологічні умови.

Запропонований підхід розмежовує обов’язкові екологічні умови та критерії вибору заходів. Спочатку відбирають рішення, які забезпечують виконання вимог, потім порівнюють їхній екологічний ефект і витрати. Це пов’язує кожний захід модернізації з контрольованим результатом.

Список літератури:

1. Верховна Рада України. (2017). *Про оцінку впливу на довкілля* (Закон України № 2059-VIII від 23 травня 2017 р., зі змінами). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19
2. European Commission. (2017). *Environmental impact assessment of projects: Guidance on the preparation of the environmental impact assessment report (Directive 2011/92/EU as amended by 2014/52/EU)*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2779/41362

ЗАГОРЯНСЬКИЙ В.Г.[1], НОВОХАТЬКО О.В.[1], МАЗНИЦЬКА О.В.[1],
МАЛЬОВАНИЙ М.С.[2] (УКРАЇНА, КРЕМЕНЧУК, ЛЬВІВ)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МОЛОКОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ НА ОСНОВІ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

[1]Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
39600, вул. Університетська, 20, Кременчук, Україна; office@kdu.edu.ua
[2]Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна

Abstract. The optimization of warehouse space at a dairy processing enterprise during modernization is considered in the context of sustainable development. Logistics modeling of material flows was used to determine the required storage areas for different dairy product groups. The total warehouse area increased from 2,3340 to 2,5674 m². The proposed approach supports the rational use of resources and provides a basis for integrating environmental and economic indicators into sustainable development assessment.

Інноваційні технології харчових виробництв і раціональна організація складської інфраструктури є важливими передумовами сталого розвитку молокопереробної галузі [1, 2]. Зберігання готової продукції потребує дотримання технологічних умов, ефективного використання площ та безперервності виробничо-логістичних процесів. Надлишкові складські площі спричиняють нераціональне використання матеріальних, енергетичних та інфраструктурних ресурсів, а їх недостатність ускладнює зберігання продукції.

Метою роботи є обґрунтування структурно-параметричного підходу до моделювання зберігання готової молочної продукції під час модернізації підприємства.

Методика ґрунтується на аналізі матеріальних потоків, обсягів виробництва, термінів зберігання, допустимого навантаження на площу та коефіцієнтів використання складських приміщень.

За результатами розрахунків визначено параметри камер для основних груп продукції: молока; кефіру, ряжанки та йогурту; сметани й м'якого сиру; масла та морозива; сухого знежиреного молока. Необхідне збільшення площі складає 233,4 м², або близько 10 %. На основі визначених параметрів розроблено узагальнений план складу готової продукції після технічного переоснащення (рис. 1).

Запропонований підхід може бути використаний під час проєктування та модернізації складських комплексів підприємств молочної галузі.

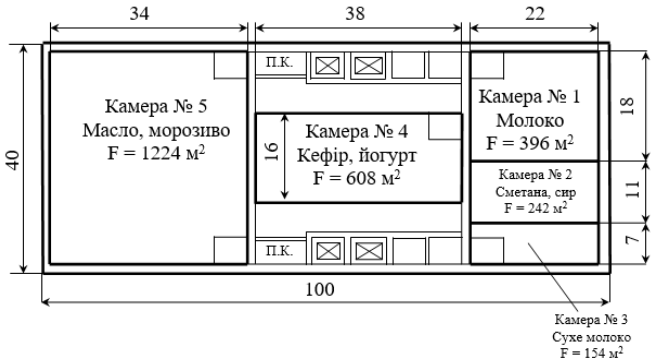


Рис. 1. План складу готової продукції (після технічного переоснащення)

Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію енергетичних показників холодильного зберігання, оцінювання ресурсоспоживання та аналіз харчових втрат у систему комплексного моделювання сталого розвитку молокопереробних підприємств.

Список літератури:

1. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія / І. М. Берник та ін. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2022. 300 с. https://repository.vsau.org/getfile.php/32594.pdf.
2. Kalaydzhiev, H., Goranova, Z., Blesa, J. (ed.) (2025). Innovative Technologies for Food Preservation and Processing. MDPI Books, 166. https://doi.org/10.3390/books978-3-7258-4842-3.

ОШИТОК Д., ГАВРИЛЯК В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

БАГАТОБАР'ЄРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДАЛЕННЯ АКТИВНИХ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ІНГРЕДІЄНТІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД: ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; daria.oshytok@gmail.com

Abstract. Active pharmaceutical ingredients (APIs) are increasingly detected in wastewater, while conventional treatment shows compound-dependent removal. This work compares adsorption, advanced oxidation, membrane separation and biological approaches within multi-barrier treatment trains. Regional pilot studies indicate that sequential processes can improve removal of persistent micropollutants, but transformation products, residual toxicity, resource demand and secondary waste streams must also be assessed. For Ukraine, site-specific pilot testing is proposed before full-scale implementation.

Активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ) належать до мікрозабруднювачів, присутність яких дедалі частіше виявляють у стічних і поверхневих водах. Основними шляхами їх надходження у водні екосистеми є комунальні та лікарняні стоки, промислові скиди, поверхневий стік і неналежне поводження з невикористаними лікарськими засобами. Фармацевтичні сполуки істотно відрізняються за структурою, зарядом, гідрофобністю, біодеградабельністю та здатністю до сорбції, тому їх вилучення на очисних спорудах має виражений речовиноспецифічний характер [1, 2]. Традиційні процеси біологічного очищення залишаються необхідним першим бар'єром, однак вони не були спеціально розроблені для контролю фармацевтичних мікрополютантів. Частина АФІ біодеградує або сорбується на активному мулі, тоді як стійкі чи високополярні сполуки можуть залишатися в очищеній воді. Метою роботи було порівняти основні фізико-хімічні й біологічні підходи до видалення АФІ та обґрунтувати доцільність багатобар'єрних технологічних схем з урахуванням перспектив їх адаптації до умов України.

Серед фізико-хімічних підходів найбільш дослідженими є адсорбція на активованому вугіллі, озонування та інші процеси поглибленого окиснення, а також нанофільтрація і зворотний осмос. Адсорбційні процеси придатні для вилучення широкого спектра мікрозабруднювачів і мають досвід повномасштабного застосування, однак їх ефективність залежить від складу стічної води, а використаний сорбент потребує регенерації або належного поводження [3]. Мембранні технології забезпечують високий ступінь затримання багатьох розчинених АФІ, проте супроводжуються енергетичними витратами, ризиком забруднення мембран і утворенням концентрованого ретентату. Отже, зменшення концентрації речовини у водній фазі не завжди означає її руйнування: забруднювач може бути перенесений у мул, сорбент або концентрат, що слід враховувати під час екологічної оцінки технології.

Окреме місце займають окиснювальні технології, зокрема озонування, UV/H_2O_2, реакції Fenton і photo-Fenton, а також фотокаталіз. Вони здатні швидко трансформувати низку стійких фармацевтичних сполук і можуть застосовуватися як третинний або четвертинний етап очищення. Водночас зниження концентрації вихідного АФІ не є тотожним повній мінералізації. Під час окиснення можуть утворюватися гідроксильовані, N-оксидовані, деалкільовані та інші проміжні продукти, токсикологічні властивості яких можуть відрізнятися від властивостей вихідної сполуки [4]. Тому ефективність окиснювального очищення доцільно оцінювати не лише за відсотком видалення батьківського АФІ, а й за утворенням і стійкістю продуктів трансформації, ступенем мінералізації та залишковою біологічною активністю очищеної води [4, 5].

Біологічні підходи можуть доповнювати фізико-хімічне очищення завдяки біотрансформації та сорбції забруднювачів біомасою. Мембранні біореактори завдяки тривалішому утриманню біомаси можуть підвищувати видалення окремих повільно біодеградованих сполук, хоча ефективність залишається речовиноспецифічною. Перспективним напрямом є також використання грибів, змішаних мікробних консорціумів та їхніх ферментативних систем, здатних трансформувати структурно різні АФІ [2]. Однак для біологічної інтенсифікації, особливо грибних систем, доказова база переважно сформована лабораторними та пілотними дослідженнями; ключовими питаннями залишаються стабільність роботи у нестерильних стічних водах, конкуренція з автохтонною мікробіотою та контроль продуктів трансформації. Тому такі процеси доцільніше розглядати як компоненти комбінованого очищення, а не як універсальну заміну усталеним технологіям.

Поєднання кількох послідовних процесів дозволяє компенсувати обмеження окремих технологій і охопити АФІ з різними фізико-хімічними властивостями. У багатобар'єрних схемах біологічне

очищення може виконувати функцію базового етапу, тоді як озонування, адсорбція на активованому вугіллі або мембранне розділення забезпечують подальше поглиблене очищення. Практичну перспективність такого підходу демонструє програма EMPEREST, у межах якої мобільні пілотні установки на шести муніципальних очисних спорудах Балтійського регіону використовували для випробування озонування, гранульованого активованого вугілля (GAC), іонного обміну, нанофільтрації та їх послідовних комбінацій. Для досліджених фармацевтичних мікрополютантів повідомлялося щонайменше про 60 % видалення, причому більшість наведених ефективностей перебували в межах 80–100 %. Послідовне озонування з GAC загалом забезпечувало найбільш стабільне видалення стійких органічних мікрозабруднювачів, однак результат залежав від дози озону, тривалості контакту, вмісту завислих речовин і стану сорбенту [6].

Подібну закономірність показало пілотне дослідження на очисній споруді Moravský Beroun у Чехії. Послідовність UV/O_3-окиснення, додаткового UV-опромінення та GAC-фільтрації забезпечила понад 99 % сумарного видалення габапентину та ібупрофену. На найвищій дослідженій дозі озону UV/O_3-етап окремо видаляв 69,7 % габапентину та 92,2 % ібупрофену, тоді як наступні UV- та GAC-етапи забезпечували додаткове доочищення. Водночас високий вміст бікарбонатів і повна внутрішня рециркуляція знижували ефективність окиснення, а генерація озону була основною складовою експлуатаційних витрат [7]. Це свідчить, що навіть результативна технологічна послідовність не може бути безпосередньо перенесена на іншу споруду без урахування складу стічної води, гідравлічного режиму та цільового спектра мікрополютантів.

Для України найбільш обґрунтованим є поетапне пілотування комбінованих технологій на реальних очисних спорудах перед ухваленням рішень щодо повномасштабної модернізації. Такий підхід особливо актуальний з огляду на потребу значної частини інфраструктури водовідведення у реконструкції та модернізації [8]. На репрезентативних об’єктах доцільно спочатку визначати якість вторинно очищених стічних вод, а далі порівнювати озонування з GAC, адсорбційні та мембранні схеми, а також окремі варіанти біологічної інтенсифікації. Критерії оцінювання мають включати не лише зниження концентрації вихідних АФІ, а й утворення продуктів трансформації, залишкову токсичність, перенесення забруднювачів у мул або концентрат, енергоспоживання, потребу в реагентах, витрати на обслуговування та експлуатаційну стійкість. Отже, багатобар’єрне очищення доцільно розглядати не як фіксовану універсальну технологічну схему, а як принцип поєднання комплементарних процесів, конфігурація яких має визначатися за результатами локального моніторингу та пілотних випробувань.

Список літератури:

1. OECD. (2019). Pharmaceutical residues in freshwater: Hazards and policy responses. OECD Studies on Water. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/c936f42d-en
2. Ortúzar, M., Esterhuizen, M., Olicón-Hernández, D. R., González-López, J., & Aranda, E. (2022). Pharmaceutical pollution in aquatic environments: A concise review of environmental impacts and bioremediation systems. Frontiers in Microbiology, 13, 869332. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.869332
3. Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., de Alencastro, L. F., Abegglen, C., Thonney, D., Chèvre, N., Schärer, M., & Barry, D. A. (2013). Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? Science of the Total Environment, 461–462, 480–498. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.034
4. Bourgin, M., Beck, B., Boehler, M., Borowska, E., Fleiner, J., Salhi, E., Teichler, R., von Gunten, U., Siegrist, H., & McArdell, C. S. (2018). Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products. Water Research, 129, 486–498. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.036
5. Kienle, C., Werner, I., Fischer, S., Lüthi, C., Schifferli, A., Besselink, H., Langer, M., McArdell, C. S., & Vermeirssen, E. L. M. (2022). Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant with ozonation and different post-treatments using a broad range of *in vitro* and *in vivo* bioassays. Water Research, 212, 118084. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118084
6. Tenno, T., Velling, S., & Swinarski, M. (2025). Strategies and technological means for minimizing organic micropollutant emissions from WWTPs. EMPEREST Output 2.3. University of Tartu and Gdańsk Water Utilities.
7. Vašinka, M., Krňávek, B., Macsek, T., & Vinklářová, V. (2025). Pilot-scale evaluation of UV/O_3 oxidation, UV irradiation, and GAC filtration for removal of gabapentin and ibuprofen and impacts on selected physicochemical properties of treated wastewater. Journal of Water Process Engineering, 80, 109037. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.109037
8. James, A., Wuatelet, B., Berland, J. M., Goossens, X., Fribourg-Blanc, B., & Zakorchevna, N. (2025). National baseline assessment report of wastewater treatment infrastructure: Ukraine. EU4Green Recovery East.

КОТИК С.Я., ВРОНСЬКА Н.Ю. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОСНОВНІ ЗАБРУДНЮВАЛЬНІ РЕЧОВИНИ У СТІЧНИХ ВОДАХ ПІДПРИЄМСТВ З ВОЛОЧІННЯ МІДІ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна.

Abstract. During copper rod drawing (reducing thick copper rods into thin wires through a series of dies) relies heavily on water for cooling, cleaning, and lubrication. Copper rod drawing generates solid, liquid, and chemical waste streams primarily consisting of copper scrap, lubricant emulsions, and worn-out equipment parts. When these process fluids age or spill, they generate highly specialized wastewater and chemical contaminants.

Процес волочіння мідного дроту супроводжується утворенням стічних вод і відходів, до складу яких можуть входити мастильні матеріали, метали, завислі речовини, органічні сполуки та інші компоненти.

Одним із основних джерел забруднення є відпрацьовані емульсії для волочіння та залишки мастильних матеріалів. Волочильні машини працюють із безперервною циркуляцією водомасляної емульсії, яка забезпечує охолодження та змащування дроту. У процесі експлуатації внаслідок тертя, нагрівання, окиснення та мікробіологічних процесів емульсія поступово втрачає стабільність і експлуатаційні властивості. Відпрацьована емульсія містить мастила, поверхнево-активні речовини, біоциди, продукти їх деструкції та металеві домішки і потребує належного поводження та утилізації.

Іншим джерелом забруднення є охолоджувальна вода, що використовується під час термічної обробки мідного дроту. Після волочіння дріт може піддаватися відпалу для підвищення пластичності та видовження з подальшим охолодженням. Під час контакту з нагрітою поверхнею дроту вода може забруднюватися мастильними матеріалами, оксидами міді, дрібнодисперсними металевими частинками та іншими поверхневими забрудненнями.

На окремих виробничих лініях передбачаються операції очищення катанки та підготовки поверхні. Для видалення оксидів міді можуть застосовуватися кислотні розчини, зокрема на основі сірчаної кислоти, з подальшим промиванням водою. У результаті утворюються кислі стічні води, що можуть містити розчинені сполуки міді та інші компоненти, видалені з поверхні металу.

Важливим видом відходів є мідний шлам, який накопичується в резервуарах охолоджувальних та мастильних систем. Він являє собою суміш дрібнодисперсного мідного порошку, продуктів окиснення металу, мастильних матеріалів та інших механічних домішок. Утворення шламу пов'язане з механічним зношуванням поверхні дроту під час його проходження через волоки.

У процесі волочіння також утворюються дрібний мідний пил і металевий порошок, що виникають унаслідок тертя між дротом і робочими поверхнями волок.

Додатковими відходами є використані фільтрувальні матеріали – масляні фільтри, фільтрувальні мішки та мембранні елементи, які застосовуються для очищення охолоджувальних і мастильних рідин. Такі матеріали можуть містити залишки мастил, емульсій і металевих частинок.

Унаслідок запуску та зупинки обладнання, технологічних порушень і розривів дроту утворюються обрізки, мідний брухт і дрібні металеві фрагменти. Частина таких частинок може потрапляти до технологічного обладнання, а згодом – до резервуарів із водою або емульсією.

Особливу екологічну небезпеку становлять окремі компоненти емульсій для волочіння, зокрема біоциди, поверхнево-активні речовини, мінеральні базові оливи, сполуки бору та металеві домішки. Незважаючи на важливу технологічну роль емульсій у змащуванні та охолодженні, їх компоненти та продукти трансформації можуть негативно впливати на водні та ґрунтові екосистеми у разі потрапляння у навколишнє середовище.

Мінеральні оливи та важкорозкладні поверхнево-активні речовини становлять додатковий екологічний ризик. Через низьку розчинність мінеральні оливи можуть утворювати плівку на поверхні води, що перешкоджає газообміну та може знижувати концентрацію розчиненого кисню. Окремі поверхнево-активні речовини, зокрема алкілфенольні сполуки та продукти їх трансформації, характеризуються токсичністю для водних організмів і можуть проявляти ендокринно-активні властивості.

Таким чином, основними забруднювальними компонентами стічних вод та супутніх відходів виробництва мідного дроту є нафтопродукти та мастильні матеріали, поверхнево-активні речовини, біоциди, сполуки міді, завислі металеві частинки, кислі компоненти та органічні речовини. Їх склад і концентрації залежать від технології волочіння, типу застосовуваної емульсії, режимів охолодження та способів очищення поверхні металу.

КОЛЕСНИК В.Є., АМІРОВ М.Г. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЛЮДСЬКИХ ПОМЕШКАННЬ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ З АВАРІЙНИМ ПРИПИНЕННЯМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, пр. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна; rector@nmu.org.ua

Abstract. The environmental safety of dwellings during emergencies with loss of centralized electricity, gas and water supply is considered. The minimum power demand is estimated at 0.792 kW for an apartment and about 5 kW for a private house or shelter. For a 4 kW petrol generator supplying an apartment, emissions are about 2.7 kg/h of CO_2 and 230–400 g/h of CO. A 1 kW generator at rated load combined with heat pumps is proposed, reducing CO emissions 2–4 times. Exhaust cleaning by a chemisorbent-wetted fibrous filter cartridge is substantiated.

Ретроспективний аналіз надзвичайних ситуацій (далі НС) показав, що вони завдають значної шкоди довкіллю, в тому числі міським урбоекосистемам, до яких входять численні людські помешкання. Причому НС супроводжуються аварійним припиненням не лише централізованого електропостачання, а й газо- та водопостачання людських помешкань, що змушує міські рятувальні служби і самих мешканців застосовувати альтернативні джерела енергії, насамперед бензинові електрогенератори (далі бензогенератори) потужністю 3…5 кВт. Проте викиди екологічно небезпечних речовин в атмосферу з вихлопними газами їхніх двигунів при тривалій роботі поблизу людського помешкання, наприклад на балконі багатоповерхівки, суттєво знижують рівень екологічної безпеки як людських помешкань, так і міської урбоекосистеми в цілому, являючи пряму загрозу здоров'ю людей (через викиди оксиду вуглецю) та якості довкілля (через викиди парникових газів), особливо під час масштабного застосування таких джерел в умовах НС.

Мета роботи – підвищення рівня екологічної безпеки людських помешкань, як складової міської урбоекосистеми, за рахунок зменшення викидів екологічно небезпечних речовин з вихлопними газами бензогенераторів, що масово застосовують як альтернативне джерело енергії під час НС.

Оскільки для НС норм енергоспоживання населенням не передбачено, як орієнтир ощадного енергоспоживання авторами запропоновано [1] використовувати існуючу соціальну норму електроспоживання [2]: 100 кВт·год на місяць на одну особу та додатково 30 кВт·год на кожного члена сім'ї, тобто 190 кВт·год для помешкання родини з 4-х осіб. Мінімальним терміном альтернативного енергозабезпечення в НС прийнято діючий норматив 12 годин щодо відновлення опалення [1], оскільки саме половину доби мешканці переважно користуються побутовими приладами. За таких умов потужність джерела для живлення електричних побутових приладів помешкання склала 0,259 кВт (без урахування теплозабезпечення).

Між тим, аналіз типового добового споживання електроенергії побутовими приладами двокімнатної квартири родини з 4-х осіб [4] показав, що в ощадних умовах НС при використанні лише приладів першочергового забезпечення життєво важливих потреб за 12 годин буде спожито 9,5 кВт·год, що відповідає потужності джерела 0,792 кВт. При цьому 68,4 % енергії припадає на обігрівач і бойлер, тобто на забезпечення теплом і гарячою водою, а решта 31,6 % – на чисто електричні прилади. Отже, тепло- та електропостачання помешкання в НС доцільно орієнтувати на різні види мобільних джерел енергії.

Для типового приватного будинку міського житлового сектору навіть після попереднього утеплення сумарна потужність джерела для живлення побутових приладів, обігріву приміщення і нагрівання води сягає 4,951 кВт, а для тимчасового укриття типу бліндаж – 4,982 кВт, переважно на теплозабезпечення. Отже, їх енергозабезпечення в НС вимагає бензогенераторів потужністю до 5 кВт, що тягне за собою значні викиди екологічно небезпечних речовин в атмосферу. Для їх кількісної оцінки розглянуто бензогенератор GENERGY Limited 5000 (4 кВт, двигун 272 $см^3$), паспортна витрата бензину якого становить 1,24; 1,78 та 2,3 л/год при навантаженні 25, 50 та 75 % [7]. Оскільки згоряння 1 л бензину дає близько 2,35 кг CO_2 [8], викиди CO_2 складуть 2,9; 4,2 та 5,4 кг/год, а питомі викиди CO_2 на 1 кВт·год виробленої електроенергії – 2,9; 2,1 та 1,8 кг відповідно. Для квартири (0,792 кВт) навантаження генератора не перевищить 20 %, орієнтовна витрата бензину складе ≈1,13 л/год, а викиди CO_2 – ≈2,66 кг/год.

Для оцінювання викидів чадного газу (CO) використані дані Національного інституту стандартів і технологій США – NIST (National Institute of Standards and Technology): серійні генератори

потужністю 5…5,5 кВт без систем зниження викидів при нормальному вмісті кисню в повітрі виділяють близько 500 г CO/год, причому однозначної залежності цих викидів від навантаження не виявлено [6]. Перерахунок на номінальну потужність генератора 4 кВт дає оцінку викидів CO 360…400 г/год, а на потужність 0,792 кВт пропорційно витраті палива – 231…255 г/год. При відчиненому вікні повітря для двигуна не збіднюється на кисень, але вихлопні гази можуть проникати до приміщень, а на заскленому балконі з обмеженим повітрообміном при зниженні вмісту O_2 до 17 % викиди CO зростають у кілька разів – майже до 4000 г/год [6].

Отже, з екологічної точки зору для зменшення викидів CO доцільнішим є застосування бензогенераторів меншої потужності, як-от інверторного генератора Einhell TC-IG 1100 (чотиритактний двигун 79 $см^3$) з тривалою потужністю (режим S1) 1 кВт і витратою бензину при 2/3 навантаження близько 1,2 л/год [5]. За тим самим масштабуванням даних NIST його викиди CO оцінюються в 91…100 г/год, тобто в 2,3…4,4 рази менше. Натомість викиди CO_2 (≈2,82 кг/год) за паспортними даними практично не менші, ніж у генератора 4 кВт при 0,792 кВт (≈2,66 кг/год), тому ефект щодо CO_2 потребує експериментального підтвердження.

Саме тому для досягнення поставленої мети генератор 1 кВт запропоновано об'єднати з екологічно безпечними альтернативними джерелами енергії у вигляді портативних теплових насосів «повітря–повітря» (для обігріву приміщень) та «повітря–вода» (для нагрівання води) в єдину мобільну систему альтернативного енергозабезпечення [3]. Завдяки коефіцієнту теплового перетворення COP ≈ 3…4 теплові насоси перебирають на себе більшу частку потужності, потрібної для енергозабезпечення помешкання. Оскільки від генератора живляться як теплові насоси, так і решта електроприладів, він працюватиме в номінальному режимі, а кожен кіловат його електричної потужності, спрямований на теплові насоси, даватиме 3…4 кВт теплоти. Це забезпечить збереження паливного ресурсу та зменшення викидів CO_2 на одиницю споживаної корисної енергії, а також зниження викидів чадного газу, оксидів азоту та додатково й шумового забруднення.

Крім того, суттєво зменшена потужність бензогенератора дозволила запропонувати концепцію очистки його вихлопних газів термостійкими волоконними фільтрами як альтернативу високовартісним каталітичним методам, що застосовують в автомобільних двигунах. Оскільки сухий волоконний фільтр затримує сажу, але не нейтралізує газоподібні токсиканти, його волоконну матрицю запропоновано змочувати хемосорбентом (наприклад, на основі карбаміду для нейтралізації NO_x), тонка плівка якого утримується на волокнах капілярними силами, перетворюючи кожне волокно на мініатюрний реактор плівкової абсорбції без суттєвого зростання аеродинамічного опору. Фільтр пропонується виконувати у вигляді змінного картриджа, який після промивання водою можна повторно просочити реагентом.

Висновки. Масштабне застосування в умовах НС запропонованих мобільних систем, що поєднують бензогенератор потужністю 1 кВт у номінальному режимі з тепловими насосами та очисткою вихлопних газів волоконними фільтрами, забезпечить збереження рідкого палива, якого завжди бракує під час НС, зменшення викидів чадного газу орієнтовно в 2…4 рази порівняно з генераторами 4 кВт, а завдяки тепловим насосам – і викидів CO_2 на одиницю споживаної корисної енергії, що підвищить рівень екологічної безпеки людських помешкань і міської урбоекосистеми.

Список літератури:

1. Аміров, М. Г., & Колесник, В. Є. (2025). Енергозабезпечення в людських помешканнях під час надзвичайних ситуацій. У *Молодь: наука та інновації: матеріали XIII Міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених* (Т. 1, с. 359–360). НТУ «Дніпровська політехніка».
2. Кабінет Міністрів України. (2014). *Про встановлення державних соціальних стандартів у сфері житлово-комунального обслуговування* (Постанова № 409 від 6 серпня 2014 р.).
3. Колесник, В. Є., Рудченко, А. Г., & Аміров, М. Г. (2025). Запровадження екобезпечних мобільних джерел в приватних будинках під час надзвичайних ситуацій. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (83), 338–348. https://doi.org/10.33271/crpnmu/83.338
4. Міністерство енергетики України. (б. д.). *Типове добове споживання електроенергії побутовими приладами*.
5. Einhell Germany AG. (2020). *Original operating instructions: Power generator TC-IG 1100* (Art.-Nr. 41.525.80).
6. Emmerich, S. J., Wang, L., & Persily, A. K. (2014). Measured carbon monoxide emission rates from stock and reduced-emission prototype portable generators. In *Indoor Air 2014*.
7. GENERGY España. (n.d.). *Generador gasolina gama Limited: Instrucciones de uso*.
8. U.S. Environmental Protection Agency. (2018). *Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle*.

ГРУБІНКО В.В.[1], КАЛІНІН І.В.[2], ЧВАЛЮК Г.В.[1],
КОРНІЄНКО А.Ю.[1] (УКРАЇНА, ТЕРНОПІЛЬ, КИЇВ)

АЛЬГОЛОГІЗАЦІЯ ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ХЛОРЕЛОЮ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ БОРОТЬБИ З СИНЬО-ЗЕЛЕНИМИ ВОДОРОСТЯМИ, ЗАПОБІГАННЯ «ЦВІТІННЯ» ТА ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ

[1]Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 4602, v.grubinko@gmail.com
[2] Національний університет біоресурсів і природокористування,
м. Київ, вул. Виставкова, 16, корп. 12, блок Д, 03041, kalininiihor@gmail.com

Abstract. The Ternopil Pond reservoir is a hydro-ecosystem situated in an anthropogenically transformed environment. The processes of establishing a natural regime and the water body's integration into its natural ecological niche are significantly accelerated; the system is characterized by pollution and exhibits signs of eutrophication. Inoculation with *Chlorella* algae has a beneficial effect on water quality parameters: bottom water layers typically maintain stable oxygen levels—albeit above critical thresholds—which are actively consumed during the oxidation of organic matter. Carbon dioxide levels and pH values remain within permissible limits, indicating a predominance of bicarbonate ions ($HCO3^-$).

"Тернопільський став" належить до водосховищ із специфічними особливостями водообміну, проточності, сезонних змін гідрологічних, гідрохімічних та гідробіологічних характеристик [1]. Водосховище - зарегульований водотік р. Серет – лівої притоки р. Дністер. Гідрологічна характеристика водосховища: площа водозбірного басейну до межі гідровузла, км^2 - 9,26; Об'єм стоку,млн. м^3 - річний 17, повіддя - +6 [1].

Якість води у ньому формується під впливом природних і господарських умов формування стоку, кількості і якості стічних вод та інших джерел забруднення водойми, а також процесів, що протікають у самому водосховищі, які значною мірою визначаються його гідрохімічними та гідрологічними особливостями, зокрема, інтенсивністю водообміну.

Під впливом забруднюючих речовин у екосистемі ставу відмічено порушення трофічних зв'язків, евтрофікацію і інші несприятливі екологічні процеси, що зменшують темпи росту гідробіонтів, їх плодючість та загибель. Продукційний потенціал водойми, як наслідок евтрофікації, забезпечується як збільшенням продукції фітопланктону в пелагіалі, так і за рахунок вищої водної рослинності в літоралі. Важливою складовою евтрофікації є заростання, замулювання і заболочення, а відтак, накопичення за рахунок гниття органічних залишків біоти ставу та надходження з поверхневим стоком органічних речовин.

Одним з трендів екологізації водойм є необхідність запровадження адаптаційних заходів для зменшення негативного впливу змін клімату. Однією з основних проблем є біологічне забруднення вод природних водоймищ патогенними та умовно-патогенними мікроорганізмами і альгофлорою, яке відбувається унаслідок надходження в них стічних вод з прибережних населених пунктів, промислових вод, багатих на органічні сполуки з поживними речовинами для мікроводоростей. Основними ознаками евтрофікації є масовий розвиток водоростей до рівня «цвітіння» води, зменшення концентрації розчиненого кисню на заключному етапі вегетації – при масовому відмиранні водоростей [2].

Розвиток хлорели пригнічує розвиток синьо-зелених водоростей, особливо в умовах підвищеної температури води, і це зберігає необхідний для вирощування гідробіонтів кисень у воді та забезпечує її належну кислотність. На сучасному етапі інноваційним підходом, який значно дозволяє знизити рівень забруднення водойм та покращити органолептичні властивості води, є біоремедіація суспензією хлорели, яка основана на альголізації планктонними штамами зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris*. Технологія заснована на біологічних властивостях живої хлорели пригнічувати дію синьо-зелених водоростей (ціанобактерій). Хлорела проявляє природну конкуренцію та здатна впливати на

витіснення синьозелених водоростей з водойм, ліквідує наслідки «цвітіння»: очищує воду, насичує її киснем, відновлює популяцію фіто- та зоопланктону забезпечує рибу природною кормовою базою.

В Тернопільському водосховищі на основі реалізації "Комплексної програми розвитку водосховища «Тернопільський став» на 2019-2021 роки" на площі 311 га (середня глибина близько 10 м) на початку травня з 2021 р. вноситься хлорела у вигляді «хлорелової пасти». Забруднення водойми було суттєвим важкими металами, нафтопродуктами, ПАР, тощо. У попередні роки відмічали активне "цвітіння" води, її залужнення унаслідок амонізації решток гниючих рослин та відмерлих водоростей [1, 2].

В процесі самокультивування упродовж сезону спостерігали пригнічення розвитку синьо-зелених водоростей, частка яких зменшилася до 30% у альгопробах, натомість частка клітин хлорели становила 70% від загальної кількості клітин водоростей, а їх біомаса зросла у 5 разів.

Упродовж вегетативного сезону клітини хлорели активно вегетували влітку. Призупиналася евтрофікація, відбулося пригнічення розвитку заростання вищою рослинністю, суттєво знизилися показники вмісту сполук азоту та фосфору в воді. Оптимізація вплинула на pH води (показник знизився до рівня 7,11) проти забруднення амонієм у квітні – 7,34. Упроваджений штам хлорели, володіює добре вираженими планктонними властивостями і пригнічує розвиток синьо-зелених водоростей, тим самим запобігаючи «цвітінню» води. Вміст основних органічних компонентів клітин *Ch. vulgaris* становив від загальної біомаси: протеїни – 54%, вуглеводи – 32%, ліпіди – 14%. Упродовж експоненціальної фази у 3,8 раза зріс вміст протеїнів, у 6,3 – вуглеводів, у 3,0 – ліпідів ($p < 0,05$). Надалі до 21–25-ї доби культивування вміст протеїнів був на рівні близько 60 мг сухої маси/дм^3, вуглеводів – 35, ліпідів – 12 мг. Співвідношення вуглеводи:протеїни:ліпіди становило: на початку культивування – 5,4:3,2:1,4; на стадії завершення експоненціального росту – 4,7:4,5:0,8; на стадії стаціонарного росту – 5,6:3,3:1,1.

Вода у придонних шарах характеризувалася зростанням вмісту кисню. Вміст вуглекислоти знаходиться в межах допустимого рівня та свідчить про переважання її форми гідрокарбонат-йон (HCO_3^-). Значне забруднення ставу органічними речовинами антропогенного походження змінюється: вміст нафтопродуктів знижує допустимі норми практично у 8 разів; вміст поверхнево-активних речовин зменшує допустимі значення у 1,5-5 разів; вміст фенолів у мулі знижує допустимий рівень у 2-6 разів; значення показника $БСК_5$ у водосховищі близьке до допустимого, але переважає його у 1,4 раза біля причалу катерів.

Список літератури:

1. Грубінко В.В., Гуменюк Г.Б., Волік О.В., Свинко Й.М., Маккарті Ф.М.Г. Екосистема зарегульованої водойми в умовах урбонавантаження: на прикладі Тернопільського водосховища / за ред. В.В. Грубінка. – Тернопіль : Вектор, 2013. – 201 с.
2. Гандзюра В.П., Грубінко В.В. Концепція шкодочинності в екології. – Київ–Тернопіль: Вид–во ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2008. – 144 с.

VED O., VED V. (UKRAINE, KHARKIV)

A THREE-AXIS CLASSIFICATION OF CATALYTIC CONVERTER MODELS AND THE RESEARCH GAPS IT REVEALS

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2 Kyrpychova St., Kharkiv, 61002, Ukraine, olena.ved@khpi.edu.ua

Abstract. Experimental validation of every new catalyst generation is no longer feasible under Euro 7 and the diversification of fuels, so gas-cleaning systems must be designed on models. We propose a three-axis classification of catalytic converter models by the scale they resolve, the computational paradigm and the purpose, and place twelve principal approaches of 1988–2026 in the resulting cube. The map reveals a relay of inherited problems between paradigms and an empty region: no hybrid physics–machine-learning model of a whole device, no open multi-level framework, no public benchmark datasets and no open digital twin. These five gaps form one computational research program that needs no laboratory.

Until recently, each new generation of gas-cleaning catalysts was validated experimentally: a test bench, a measurement campaign, parameter fitting. This is no longer feasible. Euro 7 requires clean exhaust from the first second after cold start, ammonia and nitrous oxide have been added to the list of regulated species, and a single gasoline has given way to hydrogen, methanol and ammonia as fuels. The number of catalyst–fuel–duty-cycle combinations has grown by orders of magnitude while laboratory capacity has not. The only viable route is to design cleaning systems on the basis of models. The question is which ones.

Over four decades, dozens of model types for catalytic converters have been developed, and no transparent way to compare them has emerged. We propose a simple one: three questions asked of any model. What does it describe: an individual active site, the catalytic coating, a single channel, the whole device, or the complete cleaning system? How does it compute: by solving the physical equations, by simplifying them for speed, by learning from data, or by combining physics with machine learning? What is it for: understanding kinetics, designing a device, controlling it in real time, or accompanying it over its entire service life? The answers place a model in a three-dimensional scale–paradigm–purpose classification cube. We positioned in it the twelve principal approaches found in the literature of 1988–2026.

The cube reveals two things that individual reviews do not. First, the history of the field is a relay of problems. Physics-based models delivered understanding but take days to run. Simplified models restored speed, but only for the catalyst on which they were calibrated. Neural networks learned from real operating data, but guarantee not even mass conservation. Each new approach resolved the principal deficiency of its predecessor and created one of its own. Second, the cube contains an empty region. Hybrid models that combine physics with learning exist only for a single channel or reaction; for the whole device that a designer actually needs, none exist. Equally absent are an open software framework for multi-level models (every group writes its own), public datasets for model comparison, and any open digital twin of a converter.

These five gaps are interrelated and together constitute a single research program. Its distinctive feature is that it requires no laboratory: everything is built on published data and open tools. For Ukrainian science under wartime conditions and restricted access to experimental facilities, this is a realistic way to remain at the forefront of environmental protection technology. The Ukrainian school has the foundation for it: a tradition of modeling coupled heat and mass transfer processes (Lviv) and the three-level catalytic converter model of NTU «KhPI», validated on industrial waste treatment installations.

References

1. Hayes, R. E., & Cornejo, I. (2021). Multi-scale modelling of monolith reactors: A 30-year perspective from 1990 to 2020. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 99(12), 2589–2606. https://doi.org/10.1002/cjce.24144
2. Votsmeier, M. (2009). Efficient implementation of detailed surface chemistry into reactor models using mapped rate data. Chemical Engineering Science, 64(7), 1384–1389.
3. Ngo, S. I., & Lim, Y.-I. (2021). Solution and parameter identification of a fixed-bed reactor model for catalytic CO2 methanation using physics-informed neural networks. Catalysts, 11(11), 1304. https://doi.org/10.3390/catal11111304
4. Ved, O. V. (2020). Assessment of the environmental performance of gas mixture purification processes based on a complex model of a catalytic converter [PhD thesis, Sumy State University] (in Ukrainian).

MOVCHAN O., DIKAREV K., PETRENKO V. (UKRAINE, DNIPRO)

LOCAL AND RECYCLED AGGREGATES IN PERMANENT FORMWORK: DEBRIS RETURNED TO THE WALL AND ROCK LEFT IN THE GROUND

Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture"
24a Architect Oleh Petrov St, Dnipro, 49005, Ukraine; o.yu.movchan@ust.edu.ua, k.b.dikarev@ust.edu.ua, vpetrenko437@gmail.com

Abstract. Ukraine holds 11.7 million tonnes of unprocessed war debris, about half of it fired clay brick and 45 % concrete, of which 8.2 million tonnes are recoverable. Five mixes for stay-in-place formwork blocks were cast and costed to see how much of that stream a wall can take back. The two on demolition debris reached 31 MPa, return 718 and 773 kg of rubble to every cubic metre cast, leave 1194 kg of granite in the ground, and deliver that strength at 79.4 and 85.1 UAH and 8.31 and 8.95 kg CO_2 per cubic metre and megapascal against 152.5 and 12.10 for commercial C20/25.

A permanent formwork block is its own mould and stays inside the finished wall, so every kilogram cast into it is a kilogram the building keeps. That makes it the most direct place to put demolition debris: nothing is stripped, cleaned, stored or hauled back, and the choice of aggregate is settled once [3]. The quantity waiting is national rather than hypothetical. A feasibility study by the United Nations Development Programme with the Ministry for Development of Communities and Territories puts the debris generated from damaged and destroyed housing in government-controlled territory at 17.2 million tonnes as of September 2025, of which 11.7 million tonnes remain to be cleared, sorted and processed; up to 70 % of that remainder, some 8.2 million tonnes, can be recovered [4]. Its composition is about 50 % brick and 45 % concrete, which is 4.1 and 3.7 million tonnes of exactly the two aggregates tested here, and the same study names precast reinforced concrete elements among its three priority products.

Four mixes were compared against a reference of commercial C20/25 on quarried granite of the 5–20 mm fraction. Granite screenings of the 0–5 mm fraction and dump blast-furnace slag, industrial by-products rather than demolition debris, were each cast at one part cement to two parts sand to two parts aggregate by mass and reached 10.0 and about 9.5 MPa at 28 days [2]. The two mixes on demolition debris, both of the 5–10 mm fraction, were cast at two parts aggregate to two parts sand to one part cement and are both entered at 31 MPa; that figure rests on one series of eighteen 100 mm cubes, one of which, at 24.25 MPa, was rejected as an outlier. The two debris mixes have not been tested against each other.

Component quantities per cubic metre follow from the absolute-volume method at a water–cement ratio of 0.55 for the reference and the two by-product mixes, and 0.60 and 0.70 for the two on debris, the increment covering water the porous aggregate absorbs on top of an effective ratio of 0.50: 5 % of its mass for crushed concrete and 10 % for brick, both literature values rather than measurements. Prices are open supplier quotations for Dnipro and the Dnipropetrovsk region collected on 08.09.2026: bulk cement 5100 UAH/t, river sand 450, quarried granite 800, granite screenings 525, dump slag 640. Crushing and screening the debris is charged at 250 UAH/t, calculated for a mobile plant burning 45 litres of diesel an hour with two operators at 301.21 UAH per person-hour. Carbon is charged at 700 kg CO_2e per tonne of CEM II/A-S cement, the middle of the 508–789 range of European declarations, no Ukrainian declaration existing, at 6 kg/t for quarried aggregate and at 3.0 kg/t for crushed recycled aggregate.

Table 1

Cost, strength and material indicators of five mixes, per 1 m³

Indicator	Reference	Screenings	Slag	Crushed concrete	Crushed brick
f_{ck}, MPa	20.0	10.0	9.5	31.0	31.0
Cost, UAH/m³	3050	2996	3035	2637	2460
Cost per strength, UAH/(m³·MPa)	152.5	299.6	319.4	85.1	79.4
CO_2, kg/m³	242	295	289	277	258
CO_2 per strength, kg/(m³·MPa)	12.10	29.48	30.45	8.95	8.31
Waste returned to the wall, t/m³	0	0	0.799	0.773	0.718
Primary granite unquarried, kg/m³	0	1194	1194	1194	1194

Two rows of Table 1 are counted in mass, and they are the point of the exercise. Every cubic metre of the two mixes on demolition debris takes 718 or 773 kg of brick or concrete rubble out of the waste stream and locks it into a load-bearing wall, which at 0.200 m³ of concrete per square metre of a 200 mm wall is 144 and 155 kg of debris per square metre built. Every cubic metre of all four substitutes also leaves 1194 kg of primary granite in the ground, about 0.45 m³ of rock in the massif. Neither quantity depends on an emission factor, on a price or on any normalisation.

Carried to the national stream, the 4.1 million tonnes of recoverable brick and 3.7 million tonnes of recoverable concrete are 5.7 and 4.8 million m³ of these two mixes, together 10.5 million m³ of concrete or 52 million m² of a 200 mm wall. The granite not quarried for that volume is 12.5 million tonnes, 4.7 million m³ of rock, about an eighth of Ukraine's entire building-stone output of 38.96 million m³ in 2020 [5].

Normalised on the strength actually delivered, the two debris mixes lead on both counts. Per cubic metre and megapascal they cost 79.4 and 85.1 UAH against the reference's 152.5, that is 48 and 44 % less, and they emit 8.31 and 8.95 kg CO_2 against 12.10, that is 31 and 26 % less. The absolute emission row is governed by cement, which carries about 95 % of every figure in it, and not by aggregate.

That row is also charged at the works gate. A cradle-to-gate declaration runs A1 to A3, of which A2 is the transport of raw materials in, and the reference hauls 1194 kg of quarried granite per cubic metre that the debris mixes do not. At the 2025 United Kingdom factors for an average-laden rigid lorry over 17 t the crushed-brick mix therefore passes the reference beyond a one-way haul of 67 km and the crushed-concrete mix beyond 148 km [6], which is the same condition the feasibility study names when it reports that recycling is most viable where transport distances are short [4]. Ukrainian geography runs that way round: 21.73 % of the country's building-stone output came from Zhytomyr oblast and 12.58 % from Rivne, in the north-west, while the debris sits in Donetsk, Kharkiv, Kyiv and Kherson at 5.7, 3.4, 1.9 and 1.1 million tonnes [4, 5].

Absolute cost ranks as the normalised figures do. The two debris mixes cost 2637 and 2460 UAH/m³ against the reference's 3050, and they stay below it until cement reaches 12 411 and 25 396 UAH/t, or crushing reaches 785 and 1073 UAH/t, against present values of 5100 and 250. The by-product mixes hold no such margin: they cross the reference at 5799 and 5327 UAH/t, so their case rests on the aggregate being at hand rather than on its price after delivery.

Conclusions. A permanent formwork block is a place to put demolition debris and keep it there. Each cubic metre cast on crushed brick or crushed demolition concrete returns 718 or 773 kg of rubble into a load-bearing wall and leaves 1194 kg of granite in the ground; across the 8.2 million tonnes Ukraine can recover, that is some 10.5 million m³ of concrete, 52 million m² of wall, and 4.7 million m³ of rock left in the massif. The strength is delivered at 79.4 and 85.1 UAH and 8.31 and 8.95 kg CO_2 per cubic metre and megapascal, 44 to 48 % and 26 to 31 % below commercial C20/25 on quarried granite. The two industrial by-products offer the unquarried rock but not the strength: at 9.5 to 10.0 MPa they are twice as dear and twice as carbon-intensive per megapascal. Three limits bound the result. The 31 MPa is one series of 18 cubes and is carried by both debris mixes. The cement emission factor is an assumed midpoint, though the sign of every difference holds at the lower bound of its range. And the crushing tariff is a calculation rather than a quotation, though break-even at 785 and 1073 UAH/t leaves the conclusion standing.

References

1. Dikarev, K., & Movchan, O. (2025). Analysis of concrete performance utilizing locally sourced materials in lightweight permanent formwork systems. *SWorldJournal, 2*(30-02), 25–39. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-30-02-017

3. Dikarev, K. B., Movchan, O. Yu., & Papirnyk, R. B. (2024). Use of local materials for the production of permanent formwork for the construction of low-rise buildings. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture,* (6(024)), 144–151. https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.271224.144.1122

4. Nilimaa, J., Gamil, Y., & Zhaka, V. (2023). Formwork engineering for sustainable concrete construction. *CivilEng, 4*(4), 1098–1120. https://doi.org/10.3390/civileng4040060

5. United Nations Development Programme. (2026). *Implementation of the debris recycling and reuse system in Ukraine: Summary report on the findings and recommendations of the feasibility study.* UNDP in Ukraine. https://www.undp.org/ukraine/publications/study-debris-recycling-and-reuse-in-ukraine

6. Extractive Industries Transparency Initiative Ukraine. (2022). *Building stone: reserves and extraction* (data of Geoinform Ukrainy and the State Statistics Service of Ukraine as of 01.01.2021). https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/kaminnya-budivelne_2022/

7. Department for Energy Security and Net Zero & Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2025). *UK Government GHG conversion factors for company reporting 2025* (Version 1, full set). London. https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2025

ХОДЄЄВ А.А., ЗАБОЛОТНИЙ О.В. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

РОЗПОДІЛ І РОЗМІР КРАПЕЛЬ ВОДИ У ВОДНО-ПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЯХ ЯК КРИТЕРІЙ ЇХ ДИСПЕРСНОГО СТАНУ

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
61070, вул. Вадима Манька, 17, Харків, Україна;a.a.khodieiev@khai.edu

Abstract. This paper examines the influence of the size and distribution characteristics of water-phase droplets on the dispersed state of water-fuel emulsions. A method is proposed for studying changes in droplet parameters using optical microscopy with simultaneous recording of the signal from a TS-300B turbidity sensor. The goal is to establish a relationship between the parameters of the dispersed phase and the sensor's optical signal in order to develop a quantitative criterion for assessing changes in the state of water-fuel emulsions.

Виготовлення і впровадження водно-паливних емульсій (ВПЕ) широко досліджуються як альтернативний вид енергоносія. Використання ВПЕ з співвідношенням водної фази від 5 до 20 % сприяє зменшенню витрат палива і шкідливих викидів у навколишнє середовище. Одним з механізмів, який забезпечує підвищену ефективність горіння палива, є явище мікровибухів. Внаслідок швидкого нагрівання та випаровування крапель води відбувається повторне подрібнення паливної суміші, що сприяє збільшенню площі випаровування та покращенню сумішоутворення і розпилення безпосередньо під час горіння. З іншого боку, наявність водяної пари в зоні горіння зменшує її температуру, що, в свою чергу, знижує інтенсивність утворення окисів азоту та твердих частинок, зокрема сажі.

Ефективність зазначених процесів напряму пов'язана із структурою емульсії. Розмір диспергованих крапель у стабільних ВПЕ зазвичай становить одиниці мікрометрів залежно від об'ємної кількості водної складової та методу виготовлення. В процесі подальшої експлуатації щойно утворені емульсії зазнають коалесценції та розшарування, де краплі води з часом змінюють свій розмір і характер розподілу. Через це актуальною задачею є контроль цих параметрів водної фази у реальному часі.

Для вирішення цієї задачі здійснюють дослідження щойно утворених ВПЕ з різним співвідношенням водної складової з метою подальшого вивчення їх складу, використовуючи оптичну мікроскопію. Необхідно фіксувати як розміри крапель, так і відстань між ними в процесі відбору великої кількості проб з різним відсотком водної складової і у різні проміжки часу. За результатами мікроскопічного аналізу для кожної проби формують розподіл крапель водної фази за розмірами. Це дозволить оцінювати не лише середній розмір крапель, а й будувати гістограми їх розподілу з фіксацією великих крапель. Одночасно з визначенням дисперсного стану ВПЕ пропонується вимірювати її каламутність за допомогою датчиків каламутності TS-300B. Вихідним параметром датчика є стала напруга, значення якої є зворотно-пропорційним до значення каламутності рідини. Для кожного досліджуваного зразка фіксують значення вихідної напруги датчика каламутності та розподіл крапель водної фази за розмірами. Краплі водної фази впливають на характер проходження та розсіювання оптичного випромінювання в емульсії. Зміна їх кількості, розмірів та розподілу в процесі коалесценції призводить до зміни оптичних характеристик ВПЕ. Тому одночасне здійснення мікроскопічного аналізу і контролю каламутності дозволять встановити взаємозв'язок між цими параметрами. Вимірювання здійснюють через визначені проміжки часу з одночасною фіксацією дисперсної структури та оптичних характеристик в процесі коалесценції і розшарування ВПЕ. Окрему увагу приділяють впливу вмісту водної фази на параметри оптичного сигналу датчиків каламутності. Збільшення кількості води у ВПЕ одночасно змінює концентрацію дисперсної фази та кількість крапель у досліджуваному об'ємі, що може впливати на результати оптичного вимірювання. Порівняння зразків з різним вмістом води дозволить відокремити вплив концентрації водної фази від змін, пов'язаних із розмірами та розподілом крапель.

Отримані результати дозволять сформувати аналітичну залежність між значеннями каламутності досліджуваної рідини, середнім розміром крапель води і характером розподілу цих крапель у паливі. Зазначена аналітична залежність дозволить сформувати кількісний критерій оцінювання зміни дисперсного стану ВПЕ і може бути використана для подальшого оперативного контролю зміни дисперсного стану емульсії лише шляхом контролю її каламутності.

КРИХОВЕЦЬ О.В., БОРДУН І.М, МАЛЬОВАНИЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДИФУЗІЇ У ГІДРОГЕЛЯХ НА ОСНОВІ ПОЛІВІНІЛОВОГО СПИРТУ ТА КРОХМАЛЮ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, oleksandra.v.krykhovets@lpnu.ua

Abstract. The diffusion characteristics in hydrogel matrices based on polyvinyl alcohol and starch containing borax were investigated. The release of salts from the polymer capsule occurs gradually and stepwise, which is due to differences in their solubility and diffusion rates through the hydrogel.

Гідрогелі на основі полівінілового спирту ПВС та крохмалю є перспективними полімерними матеріалами завдяки своїй здатності ефективно поглинати воду, набухати й регулювати транспорт розчинених сполук. Комбінування ПВС із крохмалем дозволяє гнучко змінювати структуру полімерної сітки, її гідрофільність та ступінь набухання. Це, у свою чергу, відкриває широкі можливості для керування швидкістю дифузії - властивістю, критично важливою при створенні систем пролонгованого вивільнення добрив, ліків чи інших функціональних компонентів.

Метою роботи є дослідити особливості дифузійних процесів у гідрогелях на основі полівінілового спирту та крохмалю і встановити, які саме характеристики полімерної матриці впливають на швидкість перенесення речовин.

Дифузія речовин у гідрогелі визначається одночасно як властивостями дифундуючої речовини так і структурою полімерної сітки. Під час контакту з водою гель набухає, утворюючи між макромолекулами водне середовище, через яке і переміщуються розчинені компоненти. Математично цей процес добре описується другим законом Фіка, що пов'язує зміну концентрації речовини в часі з її дифузією всередині матриці. Практичний інтерес становить використання ПВС-крохмальних гідрогелів як матриць для контрольованого вивільнення поживних речовин.

Нанесення композиції на основі полівінілового спирту, крохмалю та бури на поверхню гранульованих добрив дозволяє отримати щільну полімерну оболонку. Вивільнення речовин через цю полімерну капсулу відбувається поступово під час контакту гранули з водою. Спочатку вода проникає крізь полімерне покриття, унаслідок чого ПВС і крохмаль набухають та утворюють водонасичену структуру. Після цього компоненти добрива розчиняються, а утворені поживні речовини поступово дифундують крізь полімерну оболонку у водний розчин. Визначення кінетики вивільнення поживних речовин із гранульованих добрив, покритих полімерною оболонкою, ми проводили згідно стандарту EN 13266:2001 «Slow-release fertilizers - Determination of the release of the nutrients - Method for coated fertilizers». Вивільнення поживних речовин із мінерального добрива відбувається за фізичним механізмом, тобто шляхом дифузії води через полімерну оболонку, утворення гідрогелю та подальшої дифузії розчинених поживних речовин назовні. Вивільнення солей із полімерної капсули відбувається поступово і ступінчасто. Це зумовлено різною розчинністю солей і швидкістю дифузії у гідрогелі. У першу добу дослідження відбувається вивільнення близько 10% поживних речовин. У досліджуваній нами системі ПВ-крохмаль швидкість перенесення залежить від співвідношення вихідних компонентів, щільності зшивання та здатності гелю утримувати воду. З одного боку, високий вміст води формує ширші й доступніші дифузійні канали, що прискорює транспорт речовин. Крохмаль, багатий на гідроксильні групи, формує сітку водневих зв'язків із ПВС, суттєво впливаючи на структуру та водопоглинання капсулюючого матеріалу. Бура бере участь у формуванні та стабілізації структури ПВС-крохмальної матриці як зшивавючий агент. Збільшення вмісту бури від 10 % до 25 5 від маси крохмалю і полівінілового спирту веде до утворення щільнішої полімерна сітки. Це створює просторові перешкоди для процесу дифузії.

Гідрогелі на основі ПВС і крохмалю є перспективними матеріалами для регулювання дифузійних процесів. Їхні характеристики можна змінювати шляхом регулювання співвідношення полімерних компонентів, ступеня зшивання та умов набухання. Контроль дифузії в таких системах створює можливості для розроблення біорозкладних матеріалів із поступовим вивільненням поживних речовин та зменшенням їхніх втрат у навколишньому середовищі.

KLIUIEV E., ANTIPOVYCH Ya. (UKRAINE, DNIPRO)

USE OF RARE-EARTH ELEMENTS FROM SECONDARY MINERAL RAW MATERIALS IN POLYDISPERSE MEDIA FOR RADIATION PROTECTION

M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine
49005, Simferopolska, 2-a, Dnipro, Ukraine; eduard.igtmnanu@gmail.com

Abstract. The potential of using rare-earth elements (REEs) in polydisperse composite materials for gamma-ray protection was investigated. The radiation-protective properties were evaluated using the linear attenuation coefficient, taking into account the composition and particle size distribution of the filler. The concentrations of REEs in coal combustion products from the Prydniprovska Thermal Power Plant were determined by ICP-MS, with the highest concentrations found in fly ash. The potential of using secondary raw materials containing REEs for the development of effective radiation-protective structures was demonstrated.

Ensuring reliable protection against ionizing radiation is an important component of environmental safety during the long-term storage of radioactive waste. A promising approach is the use of polydisperse materials whose properties can be tailored by combining different matrices and fillers. Of particular interest are materials that provide effective attenuation of gamma radiation while maintaining the required mechanical and operational properties. The development of such materials can improve the efficiency of radiation protection and reduce the material consumption [1–2].

REEs are of particular interest as functional components of radiation-protective materials due to their relatively high atomic numbers and the ability of their compounds to effectively attenuate ionizing radiation [3]. Their incorporation into composite materials may enhance gamma-ray attenuation, while variations in the type and concentration of REE-containing fillers provide opportunities to tailor the protective properties of the resulting composites [4]. In this context, the recovery and utilization of REEs from secondary mineral raw materials are of particular interest, as they combine the development of functional radiation-protective materials with the valorization of industrial waste, reduced consumption of primary mineral resources, and the implementation of circular economy principles.

The aim of this study is to investigate the potential of REEs as functional components of polydisperse materials for radiation protection, to assess their effect on the attenuation of ionizing radiation, particularly gamma radiation, and to substantiate the feasibility of using such composites in protective structures for the safe management of radioactive waste.

The incorporation of rare-earth components into polymer, mineral, or other matrices makes it possible to tailor the radiation-protective properties of the material. An increase in the proportion of high-atomic-number elements may enhance the interaction of the material with gamma photons, resulting in changes in the attenuation coefficients. Compared with conventional radiation- protective materials, the use of rare-earth components in composites provides an opportunity to develop materials with tunable properties and to combine radiation protection with the required mechanical strength, chemical resistance, and processability. The formation of multilayer or heterogeneous structures is particularly promising, as individual components can perform different functions, including radiation attenuation, mechanical protection, and enhancement of structural durability. Of particular interest are polydisperse systems in which the rare-earth-containing component consists of particles with different size distributions. This approach makes it possible to control the spatial distribution of the functional filler within the matrix. Variations in particle size, concentration, and distribution uniformity may affect not only the radiation attenuation efficiency but also the mechanical and operational properties of the composite.

To enhance the protective properties of composite materials based on polydisperse powders, it is necessary to ensure an appropriate particle size distribution of the filler and a characteristic structure that prevents the formation of heterogeneities resulting from particle coagulation and agglomeration. In the experimental studies performed, only a qualitative analysis of the anomalous attenuation of ionizing radiation by ultrafine media was carried out, based on the observed deviations from the exponential attenuation predicted by the Beer–Lambert law.

The research methodology combined computational and experimental approaches and was based on a comparative analysis of the radiation-protective characteristics of the composite material and its individual components. The experimentally determined radiation-protective characteristics of the prepared samples with a specified filler volume fraction were compared with the calculated values derived from the determined characteristics of the individual material components, taken in proportions corresponding to those in the composite samples.

The linear attenuation coefficient was selected as the criterion for evaluating the protective properties of the composite material and its components. The linear attenuation coefficient is a characteristic of the protective properties of a material and quantitatively describes the attenuation of photon radiation due to absorption and scattering per unit path length through the material. Unlike the attenuation factor or equivalent thickness, the linear attenuation coefficient is an intrinsic material characteristic independent of the sample thickness and is therefore of particular scientific interest.

Among secondary mineral raw materials, coal combustion products are of particular interest due to their complex mineral and chemical composition and the presence of potentially valuable components, including REEs. Their use as a source of functional components for composite materials may provide an additional pathway for the valorization of these large-volume industrial residues. Therefore, assessing the distribution and concentration of REEs in different coal combustion products is an important step in evaluating their potential for further use in radiation- protective composites.

The concentrations and distribution patterns of REEs in coal combustion products can vary considerably depending on the geochemical characteristics of the feed coal, its formation conditions, and the technological parameters of the combustion process [5, 6]. Therefore, coal combustion products from the Prydniprovska Thermal Power Plant (TPP) were selected for this study. The investigated samples included bottom ash and boiler slag collected from ash disposal sites, as well as fly ash collected directly from the electrostatic precipitators of the power plant. The geochemical analysis of the samples was performed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), which enabled the REE concentrations to be determined in ppm and their distribution among the different coal combustion products to be evaluated.

ICP-MS analysis showed that the highest REE concentrations were found in fly ash, with maximum values of Ce (150.636 ppm), Nd (77.354 ppm), La (64.945 ppm), and Y (50.709 ppm). These results suggest preferential enrichment of REEs in the fine particles collected by the electrostatic precipitators. Lower concentrations were observed in boiler slag (Ce – 113.4 ppm, Nd – 59.0 ppm, La – 55.2 ppm), while the lowest values were found in bottom ash (Ce – 72.7 ppm, Nd – 37.7 ppm, La – 44.6 ppm). Based on these results, fly ash and boiler slag can be considered the most promising materials for further investigation in terms of the potential recovery of REEs.

The use of REEs as functional components of composite materials represents a promising approach to improving gamma-ray protection efficiency. Variations in the composition, concentration, and particle size distribution of REE-containing components make it possible to tailor the radiation-protective properties of the material while maintaining the required mechanical and operational characteristics. The obtained results indicate the potential of REE-containing coal combustion products, particularly fly ash and boiler slag, as secondary raw materials for the development of radiation-protective composites, combining functional performance with the principles of resource efficiency and circular economy.

References

1. Sobczak J., Gaweł Ż. Nano and microcomposites as gamma and X-ray ionizing radiation shielding materials – A review. Energy. 2024. Vol. 290. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130210
2. Tykhenko O., Zozulia L., Zozulia S. Composite lead-free materials for protection against ionizing and non-ionizing electromagnetic fields and radiation. Control, Navigation and Communication Systems. 2024. Vol. 2, № 76. P. 179–182. https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.2.179
3. Saenboonruang K., Poltabtim W., Thumwong A., Pianpanit T., Rattanapongs C. Rare-Earth Oxides as Alternative High-Energy Photon Protective Fillers in HDPE Composites: Theoretical Aspects. *Polymers.* 2021. Vol. 13, № 12. Article 1930. https://doi.org/10.3390/polym13121930
4. Jing X., Wang Y., Zhang Y., et al. Research progress of rare earth composite shielding materials. *Journal of Rare Earths.* 2023. Vol. 41, № 1. P. 32–41. https://doi.org/10.1016/j.jre.2022.06.004
5. Franus W., Wiatros-Motyka M.M., Wdowin M. Coal fly ash as a resource for rare earth elements. Environ. Sci. Pollut. Res. 2015. № 22, P. 9464–9474. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4111-9
6. Kharytonov, O. Berezniak, I. Klimkina, I. Rula, S. Eckart, S. Guhl, Wiche O. Prerequisites for using trace and rare-earth elements from the fly ash of Ukrainian thermal power stations. International Journal of Environmental Studies. 2025. Vol. 82, № 2. P. 778–788. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2444196

ГОЛУБ Т.С., МОЛЧАНОВ Л.С. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІННОВАЦІЙНОГО СПОСОБУ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУРМИ ОСНАЩЕНОЇ СКЛАДЕНИМИ СОПЛАМИ

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України
49050, пл. Ак. Стародубова, 1, Дніпро, Україна; office.isi@nas.gov.ua

Abstract. The study presented a techno-economic and environmental assessment of a top-blowing method for an oxygen converter bath using a lance tip with composite nozzles that characterized by a peripheral annular section occupying 75% of the nozzle's flow area and a solid central section, under industrial steelmaking conditions. Key effects resulting from the use of this type of nozzle, including environmental impacts, were outlined.

В сучасних умовах найбільш розповсюдженою технологічною схемою виробництва конструкційної сталі є: виплавка чавуну в доменній печі без обмежень за хімічним складом – позапічна десульфурація чавуну – киснево-конвертерний процес виробництва залізовуглецевого напівпродукту – позапічна обробка сталі, що включає операції доведення на УКП та вакуумування розплаву – безперервна розливка. При цьому досвід світового виробництва підтвердив економічну доцільність виробництва залізовуглецевого напівпродукту в кисневих конвертерах. Зазначений спосіб базується на окисленні надлишкового вмісту домішок в металевій ванні з утилізацією надлишкової кількості теплоти за рахунок введення в ванну різних видів металевого брухту. В промисловому виконанні найбільше розповсюдження отримали дві технологічні схеми виплавки залізовуглецевого напівпродукту у кисневих конвертерах: комбінована продувка з введенням кисню через верхню фурму та нейтрального газу через донні продувні блоки (отримала найбільше розповсюдження у світі) та верхня продувка з подачею кисню через верхню продувну фурму (найбільш розповсюджена на вітчизняних підприємствах). При цьому комбінована продувка відрізняється більш високими показниками масообмінних процесів та відповідно ефективністю та повнотою протікання фізико-хімічних перетворень в системі метал-шлак.

Виходячи з наведеного вище актуальним завданням для вітчизняної металургійної науки є розробка варіанту верхньої продувки, для діючих агрегатів, який би забезпечив технологічні показники на рівні близькому з комбінованою продувкою. Відповідно до проведених досліджень запропонована конструкція верхньої продувної фурми зі складеними соплами, які мають складну будову: периферійну складову у вигляді кільця та центральну суцільну складову, та розділяють кисневий потік, утворюючи різнопараметричні потоки з різною величиною імпульсу дії на рідку ванну. Це створює умови для гідродинамічної активізації фізико-хімічних перетворень у кисневому конвертері. Відповідно до проведених фізичних досліджень встановлено раціональне співвідношення периферійної складової до загального прохідного перетину – 75 %. Використання такого типу сопел дозволяє підвищити ступень допалювання CO у відхідних газах на 10 – 15 %відн, покращити умови шлакоутворення та перемішування ванни з пришвидшенням процесів окислення основних домішок на 10 %. Результати аналітичних балансових розрахунків виробництва сталі у 160-т конвертері (заснованих на тепловому та матеріально балансах плавки) з верхньою продувкою за умов використання складених сопел з 75 % периферійною складовою підтверджують їх економічну доцільність використання у виробництві із прогнозним підвищенням кількості металобрухту у шихті на 10 – 15 кг/т сталі (3,5 – 5,4 % від загальної маси металобрухту) та зменшенням витрати вапна на 1,5 – 2,0 кг/т з економічним ефектом на рівні 9,57 – 14,03 $/т залізовуглецевого напівпродукту. Розрахунок екологічного ефекту від використання вказаного типу сопел у вигляді зниження викидів вуглецю складатиме 0,089 – 1,191 кг/т залізовуглецевого напівпродукту.

Додатковими екологічними перевагами використання верхньої продувної фурми, оснащеної вказаними соплами складеного типу, є зниження споживання первинної сировини яка використовується для виробництва чавуну (зниження витрати залізної руди, коксу та вапняку й інших присадок) й загальне зниження викиду CO_2, які потрібні для виробництва зазначеної частки чавуну, на яку відбувається зниження витрати.

БЛАГОДАРНА Г.І., КОНОНЕНКО Я.І. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУД КАНАЛІЗАЦІЇ

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
61002, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна; galina.blagodarna@kname.edu.ua

Abstract Currently, the low efficiency of sewage treatment plants built between the 1960s and 1980s is a pressing issue. The facilities and their installed equipment are virtually unfit for operation, while the technologies employed are obsolete and incapable of ensuring the required level of wastewater treatment. Consequently, the reconstruction of such facilities offers an opportunity to achieve high-quality treatment, enabling the water to be reused for irrigation, washing city bridges and sidewalks, and supplying district heating networks. This yields significant economic benefits by reducing operating costs.

Останнім часом екосистема дедалі більше потерпає від значної кількості забруднювачів, і природа вже неспроможна впоратися з ними власними силами. Зокрема, йдеться про стічні води, які є одним із наймасштабніших і найпотужніших чинників антропогенного тиску. До основних джерел забруднення стоків належать: природні відходи життєдіяльності людей і тварин; продукти, що утворюються внаслідок господарської діяльності; використання хімічних мийних засобів; промислові відходи та викиди підприємств, а також атмосферні опади (зливи та дощі). Сучасні системи очищення покликані вирішувати низку ключових завдань. Окрім якісного усунення забруднень зі стічних вод, важливо забезпечувати зниження обсягів парникових викидів, раціональне використання енергоресурсів та впровадження практик вторинного застосування окремих ресурсів. Тобто, актуальні очисні комплекси мають мінімізувати будь-який вплив на довкілля, забезпечуючи його збереження. Стабільна робота таких систем є визначальною для надійного захисту водних об'єктів від забруднення стічними водами.

Оцінка результативності функціонування очисних систем є доволі непростим завданням, що зумовлено насамперед нестабільними змінами у складі стічних мас, які впродовж року безперервно потрапляють на очисні об'єкти. Додатково, такий об'єкт неможливо повністю ізолювати для здійснення інспекції чи відновлювальних робіт. Зрештою, об'єднання всіх етапів технологічного процесу через зворотні потоки перетворює цю систему на єдиний нерозривний механізм, де збій в одній ланці позначається на загальній продуктивності всієї станції. Для підбору оптимального способу обробки стічних вод необхідні всебічний аналіз їхнього складу (як у кількісному, так і в якісному вимірі), оцінка дієвості обраної методики та врахування економічних показників. Застарілі очисні споруди часто неспроможні гарантувати належний ступінь очищення, що призводить до забруднення довкілля та виникнення неприємних запахів у прилеглих житлових територіях.

Реконструкція очисних споруд відкриває можливість досягти високої якості очищення стічних вод, що дозволяє повторно використовувати їх для зрошення, миття мостів і тротуарів у містах, а також для живлення тепломереж. Це, своєю чергою, приносить значний економічний ефект завдяки скороченню експлуатаційних видатків. Окрім того, однією з ключових причин зростаючого попиту на модернізацію каналізаційних систем є їхня низька ефективність, зумовлена застарілою інфраструктурою та поганим фізичним станом обладнання. Перед галуззю стоять пріоритетні завдання: зменшення поточних витрат на функціонуючих об'єктах очищення та оптимізація капітальних інвестицій під час їхнього зведення чи реконструкції. Саме тому сьогодні особливо актуальним стає пошук економічно вигідних і менш затратних альтернатив для розв'язання цих питань. Одним зі способів розв’язання цієї проблеми є повна відмова від випуску неочищених стоків із будь-яких, навіть найдрібніших, пунктів водокористування, а також запровадження новітніх безвідходних і рентабельних виробничих процесів разом із сучасними очисними системами. На нашу думку, сьогодні найбільш багатообіцяючим підходом до виконання цього завдання є застосування мембранних методів у процесі обробки стічних вод, зокрема модернізація діючих локальних очисних об’єктів (наприклад, септиків) із перетворенням їх на установки аеробної біологічної очистки, оснащені мембранними біореакторами. Такий підхід є виправданим насамперед через надзвичайно високу ступінь очищення рідини, невеликі габарити устаткування, здатність усувати віруси та бактерії, а також через відсутність потреби у використанні хімічних реагентів.

ГОЛУБЄВ П.А., СЛЮЗАР А.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИБІР МЕТОДУ МЕТАНІЗАЦІЇ CO_2 БІОГАЗУ

Національний університет «Львівська політехніка»,
Вул. С. Бандери 12, Львів, Andrii.V.Siuzar@lpnu.ua

Abstract. Hydrogen methanation converts biogenic CO_2 into additional methane. This study compares methanation of separated CO_2 and purified biogas containing 60% CH_4 and 40% CO_2 in an external reactor. We performed equilibrium calculations at 600–1000 K and 1–10 bar by minimizing the Gibbs energy of the CH_4–CO_2–H_2–H_2O–CO system. Each feed contained one mole of gas before hydrogen addition at an H_2/CO_2 ratio of four. Lower temperatures and higher pressures favor methane formation, while higher temperatures promote CO formation and methane consumption. Initial methane reduces the additional methane yield per mole of feed CO_2. CO_2 separation is not thermodynamically necessary; process selection requires assessment of catalyst activity, gas purification, heat removal, and hydrogen production costs.

Перетворення CO_2 біогазу на метан CH_4 за допомогою водню дає змогу збільшити вихід метану з біогенної сировини та використати CO_2 як вуглецевий ресурс [1, 2]. Це важливо з технологічної точки зору. З екологічної точки зору – процеси одержання біогазу - біометану характеризуються нульовим приростом CO_2. Так, як сировиною для одержання біогазу часто є сільськогосподарські біорештки, які в процесі свого росту «споживали» CO_2 з атмосфери, з цього **біогенного CO_2 буде одержуватися паливо CH_4**, при спалюванні метану знову буде утворюватися CO_2. Екологічний результат буде залежати, зокрема, від походження електроенергії для H_2 для метанування і втрат метану в усьому ланцюзі.

Розрізняють **три способи метанування**. Перший – шляхом подачі H_2 безпосередньо в метантенк (*in situ*). Другий – направлення біогазу разом із H_2 в окремий реактор (*ex situ*, без попереднього відділення CO_2). Третій – попереднє розділення біогазу на два потоки CH_4 і CO_2, тобто очищення біогазу від CO_2, а вже потім метанування виділеного CO_2 в окремому реакторі. В останніх двох схемах окремий реактор може бути біологічним або каталітичним. [1-3].

Метанування в метантенку привабливе тим, що використовує наявну апаратуру і його мікробну спільноту. З недоліків методу – низька розчинність H_2 у рідині та зміна умов зброджування після його подавання. У цих умовах застосовують методи інтенсифікації з використанням інжектора Вентурі, рециркуляції газу й зміни співвідношення H_2/CO_2 [4-6].

Окремий біологічний реактор дозволяє налаштовувати умови для гідрогенотрофних метаногенів незалежно від основного зброджування. У літературі багато уваги приділено реакторам зі зрошуваним шаром (*trickle-bed*): їх досліджують як спосіб поліпшити контакт газу з мікроорганізмами. Водночас значна частина результатів отримана в лабораторних умовах, тому продуктивність і стійкість роботи треба перевіряти на масштабі конкретної установки [7-8].

Метанування виділеного CO_2 добре підходить для розгляду, якщо на підприємстві вже є установка збагачення біогазу і сформований потік CO_2. Якщо такої установки немає, до схеми додається стадія розділення/очищення біогазів. Пряме метанування очищеного біогазу дає змогу розглянути схему без цього розділення, але тоді різко зростає необхідність попереднього очищення газу від сірководню і інших домішок. Для такого каталітичного процесу істотним викликом є також відведення теплоти реакції [1,3].

Метою роботи є термодинамічне обґрунтування вибору способу метанізації.

В обох випадках реактор розташований поза метантенком. Перед подаванням газу передбачено видалення H_2S, NH_3 та летких органічних сполук (ЛОС) відповідно до вимог застосування каталізатора; вплив залишкових домішок у моделі не враховано. Порівняння проведено на основі 1 моля кожної початкової газової системи до додавання H_2.

Метанізація CO_2 є оборотною екзотермічною реакцією зі зменшенням кількості молів газу (реакція Сабатьє):

$$CO_2 + 4H_2 \rightleftharpoons CH_4 + 2H_2O(\text{г}) \quad (1)$$

Тому нижча температура та підвищений тиск сприяють рівноважному утворенню CH_4. Робоча температура залежить також від активності каталізатора. Присутність початкового CH_4 і водяної пари H_2O змінює парціальні тиски та реакційний добуток, а утворення CO знижує вихід цільового продукту. Зіставлення стандартних енергій Гіббса окремих реакцій слід доповнювати розрахунком сумісної рівноваги [1–3].

Конкурентні реакції утворення CO: зворотна водогазова реакція (2) та сухий риформінг CH_4 (3):

$$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O(\text{г}) \quad (2)$$
$$CH_4 + CO_2 \rightleftharpoons 2CO + 2H_2 \quad (3)$$

Супутня реакція метанізації утвореного CO:

$$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O(\text{г}) \quad (4)$$

У п'ятикомпонентній газовій системі незалежними є реакції (1) і (2); реакція (3) дорівнює −(1) + 2(2), а реакція (4) — (1) − (2). Це стехіометричні співвідношення, які не визначають механізму каталізу.

Методика розрахунків. Проведено розрахунки за 600–1000 К і 1–10 бар. Основа порівняння − 1 моль газу до подавання H_2: Система А містить 1 моль відділеного CO_2, система Б − 0,6 моль CH_4 і 0,4 моль CO_2. За стехіометричним співвідношенням $H_2/CO_2 = 4$ додано відповідно 4,0 та 1,6 моль H_2. Для оцінки впливу початкового метану результати додатково нормовано на 1 моль вхідного CO_2. Приріст CH_4 визначали як різницю його кількостей на виході реактора та в подачі.

Проведено термодинамічні розрахунки за 600–1000 К і 1–10 бар на основі ентальпій, ентропій та температурних залежностей. Розглянуто метанування CO_2 і CO, зворотну водогазову реакцію та сухий риформінг. Сумісну рівновагу CH_4–CO_2–H_2–H_2O–CO визначали мінімізацією енергії Гіббса. Прийнято ідеальні гази, ізотермічність і стандартний тиск 1 бар, вода виключно у паровій фазі, тверді фази - виключено. Ця газофазна модель також не охоплює біологічного метанування в метантенку.

Результати досліджень. Для реакції (1) розраховане $\Delta_rG°$ зростає від −55,72 кДж/моль за 600 К до +30,20 кДж/моль за 1000 К. Для зворотної водогазової реакції (2) воно зменшується від +16,69 до +3,02 кДж/моль. Підвищення температури послаблює метанування та посилює утворення CO.

За 700 К і 1 бар рівноважний приріст CH_4 становить 0,808 моль для системи А та 0,293 моль для системи Б. Після нормування це відповідно 0,808 та 0,731 моль CH_4/моль вхідного CO_2. Вміст початкового CH_4 знижує його додатковий вихід за цих умов, але не унеможливлює метанування. За 900 К і 1 бар у системі Б утворюється 0,343 моль CO, а приріст CH_4 становить −0,060 моль.

Підвищення тиску з 1 до 10 бар за 700 К збільшує приріст CH_4 до 0,921 моль у системі А та 0,355 моль у системі Б; кількість CO зменшується відповідно з 0,009 до 0,001 і з 0,008 до 0,001 моль, відповідно. Це відповідає зменшенню кількості молів газу під час метанування.

Розрахунки підтверджують термодинамічну можливість прямого метанування очищеного біогазу без відділення CO_2. Доцільно розглядати нижчу температуру в межах активності каталізатора, підвищений тиск і відведення тепла. Ступеневе метанування з проміжною конденсацією води [1] та її вилучення під час реакції [2] можуть підвищувати вихід CH_4, однак ці операції в наших розрахунках не моделювалися.

Отже, термодинамічні розрахунки модельної суміші в обох системах не вказують на обов'язковість відділення CO_2 від біогазу. Вибір схеми потребує оцінки витрат на розділення, стискання та отримання H_2, активності каталізатора й вимог до продукту. Порівнювати слід приріст CH_4, його вплив на вхідний CO_2 та утворення CO. Для остаточного вибору необхідно врахувати кінетику й можливе закоксування.

Список літератури:

1. Calbry-Muzyka, A. S., & Schildhauer, T. J. (2020). Direct methanation of biogas—Technical challenges and recent progress. *Frontiers in Energy Research*, *8*, Article 570887. https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.570887
2. Aryal, N., Kvist, T., Ammam, F., Pant, D., & Ottosen, L. D. M. (2018). An overview of microbial biogas enrichment. *Bioresource Technology*, *264*, 359–369. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.013
3. Corbellini, V., Kougias, P. G., Treu, L., Bassani, I., Malpei, F., & Angelidaki, I. (2018). Hybrid biogas upgrading in a two-stage thermophilic reactor. *Energy Conversion and Management*, *168*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.074
4. Jensen, M. B., Kofoed, M. V. W., Fischer, K., Voigt, N. V., Agneessens, L. M., Batstone, D. J., & Ottosen, L. D. M. (2018). Venturi-type injection system as a potential H_2 mass transfer technology for full-scale in situ biomethanation. *Applied Energy*, *222*, 840–846. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.034
5. Wahid, R., Mulat, D. G., Gaby, J. C., Horn, S. J., & Christensen, S. J. (2019). Effects of H_2:CO_2 ratio and H_2 supply fluctuation on methane content and microbial community composition during in-situ biological biogas upgrading. *Biotechnology for Biofuels*, *12*, Article 104. https://doi.org/10.1186/s13068-019-1443-6
6. Khan, A., Akbar, S., Okonkwo, V., Smith, C., Khan, S., Shah, A. A., Adnan, F., Ijaz, U. Z., Ahmed, S., & Badshah, M. (2022). Enrichment of the hydrogenotrophic methanogens for in-situ biogas up-gradation by recirculation of gases and supply of hydrogen in methanogenic reactor. *Bioresource Technology*, *345*, Article 126219. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126219
7. Thapa, A., Jo, H., Han, U., & Cho, S.-K. (2023). Ex-situ biomethanation for CO_2 valorization: State of the art, recent advances, challenges, and future prospective. *Biotechnology Advances*, *68*, Article 108218. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108218
8. Feickert Fenske, C., Strübing, D., & Koch, K. (2023). Biological methanation in trickle bed reactors - a critical review. *Bioresource Technology*, *385*, Article 129383. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129383

ДОВГАЛЮК І.Г.[1], ХАЦЕВИЧ О.М.[1,2], КУЛИК Г.М.[1], БУРАК А.В.[1]
(УКРАЇНА, КАЛУШ, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ТЕХНОГЕННІ ОБ'ЄКТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ПЕРЕХОДУ ДО ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ: ВИКЛИКИ, РИЗИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ

[1]Державна установа «Державний науково-дослідний та проектний інститут основної хімії», 77304, м. Калуш Івано-Франківської області, вул. Фабрична, 5а; halurgie@niochim.kharkov.ua
[2]Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 76018, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57; khatsevich.olga@meta.ua

Abstract. The paper examines the potential of Ukraine's technogenic objects as sources of secondary raw materials in the transition to a circular economy. The main environmental, technological, organisational, and social barriers to the reuse of technogenic resources are outlined. Approaches to processing technogenic raw materials, recovering valuable components, and reducing environmental risks are considered. The importance of cooperation among science, business, public authorities and local communities for developing viable processing projects is substantiated. Priority directions for technological modernisation, monitoring, investment and formation of a market for secondary materials are proposed.

Перехід України до циркулярної економіки є важливою передумовою післявоєнного відновлення та підвищення ресурсної і економічної стійкості. В умовах значного навантаження на природні ресурси та накопичення відходів традиційна лінійна модель «видобування — виробництво — споживання — видалення» поступово має замінюватися моделлю, у якій матеріальні потоки максимально довго залишаються в економічному обігу. Особливого значення набуває переоцінка техногенних об'єктів, які можуть розглядатися не лише як джерела екологічної небезпеки, а й як потенційну вторинну мінеральну сировину. До техногенних об'єктів належать відвали, хвостосховища, шламонакопичувачі, золовідвали, терикони, накопичувачі промислових відходів та інші масиви матеріалів, сформовані внаслідок видобутку, збагачення і перероблення мінеральної сировини. Їхній склад характеризується наявністю залишкових концентрацій корисних компонентів, які не були вилучені за чинними технологіями. Водночас склад і властивості таких матеріалів можуть істотно змінюватися внаслідок тривалого зберігання, вивітрювання, міграції компонентів і взаємодії з атмосферними опадами. Тому їх залучення до повторного використання потребує попередньої ресурсної та екологічної оцінки.

Важливою проблемою є екологічний вплив техногенних масивів. Неконтрольоване накопичення відходів може спричиняти забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, утворення пилу, зміну ландшафту та інші негативні процеси. Для окремих об'єктів додатковими ризиками є міграція розчинних компонентів і формування забруднених водних потоків. Перероблення техногенної сировини дозволяє одночасно зменшувати площі накопичення відходів, знижувати потенційний вплив на довкілля, повертати частину матеріалів у виробничий цикл. Перспективність такого підходу визначається не лише екологічними, а й ресурсно-економічними чинниками. В умовах обмеженого доступу до окремих природних ресурсів техногенні об'єкти можуть стати додатковою базою для одержання мінеральної сировини та цінних компонентів. Для цього необхідно розвивати ефективні технології перероблення, які забезпечують селективне вилучення корисних речовин і мінімізують утворення нових відходів. Окремий напрям, актуальний для України, - перероблення техногенних сольових матеріалів і концентрованих сольових розчинів. Такі об'єкти можуть містити цінні мінеральні компоненти та розглядатися як ресурс для одержання товарної продукції за умови відповідного технологічного та екологічного обґрунтування. Перспективними є комплексні схеми, у яких послідовно здійснюються вилучення цільових компонентів, концентрування розчинів, одержання корисних продуктів та повторне використання води. Такий підхід відповідає принципам циркулярності, оскільки передбачає максимальне використання матеріального потенціалу сировини та зменшення обсягів відходів.

Водночас широке залучення техногенних об'єктів стримується низкою бар'єрів. Серед них — недостатня кількість сучасних потужностей для сортування та глибокої переробки, застарілі технологічні рішення, дефіцит достовірних даних про склад і рух потоків відходів, складність залучення інвестицій, відсутність сформованого ринку вторинної сировини. Тому є нагальна потреба у стандартизації вторинних матеріалів, удосконаленні систем моніторингу, підвищенні рівня

екологічної грамотності учасників процесу. Для вирішення цих питань є необхідне поєднання наукових досліджень, технологічних розробок, державної підтримки та економічної зацікавленості бізнесу. Наукові установи можуть забезпечувати дослідження складу техногенної сировини, розроблення технологічних схем, оцінювання екологічних ризиків і визначення сфер застосування продуктів. Підприємства зацікавлені у впровадженні технологій, які мають техніко-економічну доцільність, а органи влади та територіальні громади повинні створювати нормативні, інфраструктурні та інвестиційні умови для реалізації таких проєктів.

Одним із практичних механізмів реалізації проєктів може бути публічно-приватне партнерство, особливо для об'єктів, що потребують значних початкових інвестицій і тривалого технологічного циклу. До таких належать виробництва кальцинованої соди, харчової солі, калійних добрив. Перспективними також є кооперативні моделі, кластери, грантове фінансування та інші форми взаємодії. Для техногенних об'єктів це може створювати передумови для формування регіональних комплексів із перероблення розсолів, шламів та інших відходів, а також для розвитку виробництв, орієнтованих на одержання вторинної сировини. Важливою умовою переходу до циркулярної моделі є створення достовірної інформаційної бази щодо техногенних об'єктів. Тому необхідна систематизація відомостей про їхній склад, обсяги, фізико-хімічні властивості, екологічний стан і ресурсний потенціал, а також постійний моніторинг змін. Використання цифрових технологій та сучасних систем обліку може підвищити якість ухвалення рішень щодо пріоритетності перероблення відходів і забезпечити прозорість матеріальних потоків.

Отже, техногенні об'єкти України доцільно розглядати як складову ресурсного потенціалу циркулярної економіки. Їх перероблення здатне поєднати зменшення екологічного навантаження з поверненням цінних компонентів у господарський обіг. Найбільш результативним є комплексний підхід, що передбачає ресурсну оцінку об'єктів, розроблення технологій глибокого перероблення, контроль екологічної безпеки, створення ринку вторинних матеріалів та кооперацію науки, бізнесу, держави, громад. Реалізація таких підходів може сприяти формуванню більш ресурсоефективної, конкурентоспроможної та стійкої моделі розвитку України.

Список літератури:

1. Linde, N., Terenko, O., & others. (2024). Artificial intelligence in waste management: A review. Nature Research Journal, 7(3). https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.0703ukr08
2. Hou, X., et al. (2025). Circular economy in China's coal industry: A systematic review and future perspectives. Sustainability, 17(18), 8147. https://doi.org/10.3390/su17188147
3. Sun, Y., et al. (2025). Comprehensive utilization of coal gangue and circular economy approaches. Energies, 18, 444. https://doi.org/10.3390/en18020444
4. Beidyk, O., & Komliev, O. (2023). Mineral and raw material self-sufficiency of Ukraine. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 32(2), 217–223. https://doi.org/10.15421/112320

ШКВІРКО О.М., ГОЛЕЦЬ Н.Ю., ГУМНИЦЬКИЙ Я.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЗАСТОСУВАННЯ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Національний університет «Львівська політехніка»,
79000, вул. Степана Бандери, 12 , м. Львів, Україна: oksana.m.shkvirko@lpnu.ua

Abstract. In this investigates the regularities of the mass transfer process of component adsorption in a heterogeneous "solid–liquid" system. Natural zeolites were used as sorbents in the adsorption process. The interrelation between the hydrodynamic and physicochemical characteristics of the system, as well as the principles of mathematical description of its statics and kinetics, are examined. Based on the experimental studies, the key static and kinetic parameters of the process were determined. The specific equilibrium adsorption capacity of the dissolved component was calculated from the difference between its initial and final equilibrium concentrations. The obtained results can serve as a foundation for optimizing and development of environmental protection and chemical-technological processes for the purification of liquid media.

Природоохоронні технології базуються на гідродинамічних, теплових та масообмінних процесах. Масообмінні процеси (абсорбція, ректифікація, розчинення, адсорбція та інші) є основними у загальних процесах хімічної технології та інших технологічних процесах. Провідна роль у масообмінних процесах належить сорбційним процесам - це абсорбція, хемосорбція, адсорбція, йонний обмін. Адсорбція заснована на використанні твердих пористих матеріалів – сорбентів. На практиці використовуються штучні та природні адсорбенти. Серед природних сорбентів важливе значення мають природні цеоліти. В Україні є значні поклади цеолітів, а їх ефективність та доступність забезпечує широке практичне застосування.

Нами досліджувались масообмінні процеси на основі сорбції компонентів на твердих сорбентах. У технологічних процесах цей процес протікає у системі тверде тіло (адсорбент) – рідка (або газова) фаза [1].

Серед багатьох процесів хімічної, тепломасообмінної, харчової та інших галузей промисловості системи тверде тіло-рідина посідають значне місце і характеризуються притаманними їм закономірностями. Ці закономірності базуються на гідродинамічних властивостях системи [2], фізико-хімічних властивостях, математичному опису статики, кінетики та гідродинаміки. Разом з цим у дослідженнях визначаються не лише певні показники цих процесів, а також взаємозв'язок між ними.

Проведені експериментальні дослідження сорбції на кліноптилоліті Сокирницького родовища у статичних умовах. Адсорбційну ємність сполук амонію визначали експериментально. З цією метою були приготовані розчини цих сполук певних концентрацій. Певні об'ємні кількості розчину заливалися у колби та додавалася наважка цеоліту. Колби з сумішшю поміщалися у термостат та витримувалися за певної температури значний час до постійної концентрації йонів амонію у рідині. Визначення концентрації сполук амонію ґрунтувалися на реакції взаємодії йонів амонію з реактивом Неслера. Забарвлення системи у жовто-коричневий колір дозволило за допомогою фотоколориметра визначити адсорбційну здатність адсорбату. Одержані величини співставлялись із величиною концентрації сполук амонію та визначалася адсорбційна здатність а*. Одержані дані а* були представлені у вигляді залежності адсорбційної здатності від концентрації сполук амонію у розчині.

У даному дослідженні подано результати експериментів адсорбції на природних цеолітах та визначено основні статичні й кінетичні параметри процесу. До статичних параметрів адсорбції належить визначення рівноважних концентрацій у системі тверде тіло (адсорбент) та рідка фаза з наперед заданою початковою концентрацією компонента, що підлягає адсорбції. У процесі адсорбції визначали кінцеву концентрацію. Це дало можливість визначити величину адсорбованого компоненту у стані рівноваги.

Список літератури:

1. Гумницький Я. , Сабадаш В. Адсорбція системи природний адсорбент – рідка фаза. Монографія. – Львів:, Видав. Львівська політехніка, 2022, - 216 с.
2. Тижбір Г. А., Гумницький Я. М. , Сабадаш В. В. Статика та кінетика адсорбції речовин сорбентами, синтезованими на основі золи виносу ТЕС / Матеріали конференції «Хімія та хімічні технології». Львів: Видав. Львівська політехніка, С. 214

ЛАТУША Д.Р., ПЕТРИК Б. В., ШЕВЧЕНКО В.О., КВАТЕРНЮК С.М., ПЕТРУК В.Г., КВАТЕРНЮК А.С. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

МОДЕЛЮВАННЯ АГРОГЕННОЇ ЕВТРОФІКАЦІЇ ПРІСНОВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна; kvaternuk@vntu.edu.ua

Abstract. The paper provides a comprehensive ecological analysis of anthropogenic eutrophication mechanisms in freshwater ecosystems driven by diffuse phosphorus runoff from agricultural landscapes. The key role of phosphorus as a limiting factor determining the trophic status of water bodies is substantiated. A conceptual ecological model was developed and analyzed to describe the temporal dynamics of nutrient transformation, cyanobacterial blooms, and the onset of dissolved oxygen depletion. Based on a systems analysis of ecosystem interactions, ecologically safe agricultural load thresholds were established, and the risks of hypoxia-induced fish kill events were evaluated.

Сучасний стан більшості прісноводних екосистем України та світу характеризується високим рівнем антропогенної трансформації. Одним із найгостріших екологічних деструкторів водного середовища є техногенна (антропогенна) евтрофікація – прискорене збагачення водойм біогенними елементами, що призводить до порушення сформованої міжвидової рівноваги, зміщення структурно-функціональної організації гідробіоценозу та загального погіршення якості води.

Головним джерелом надходження біогеннів у поверхневі води є сільськогосподарські угіддя. Інтенсифікація землеробства супроводжується внесенням значних доз мінеральних добрив. Оскільки коефіцієнт засвоєння фосфору та азоту культурними рослинами рідко перевищує 40–60%, значна маса цих сполук залишається у верхньому шарі ґрунту. Внаслідок водної ерозії, зливового та талого стоку мінеральні сполуки у вигляді фосфатів та нітратів вимиваються до гідрографічної мережі.

У прісноводних екосистемах фосфор виступає головним лімітуючим фактором. Його надлишкове надходження знімає обмеження на ріст первинної продукції, що викликає вибухоподібне розмноження планктонних водоростей. Це явище, відоме як «цвітіння» води, тягне за собою ланцюг небезпечних екологічних наслідків: погіршення світлового режиму у товщі води та відмирання вищих водних рослин (макрофітів); синтез ціанотоксинів (мікроцистинів), небезпечних для риб, зоопланктону та людини; накопичення величезної маси відмерлої органіки на дні водойми.

Деструкція цієї органіки гетеротрофними бактеріями вимагає поглинання колосальних обсягів розчиненого кисню. У літній період, коли розчинність кисню у теплій воді природно знижується, це призводить до формування гіпоксії, що спричиняє масовий замор риби, бентосних організмів та колапс екосистеми.

Традиційні натурні гідроекологічні спостереження фіксують наслідки евтрофікації вже post factum. Тому застосування комп’ютерного імітаційного моделювання є необхідним екологічним інструментом. Воно дозволяє не просто описати поточний стан, а й виконати предиктивний (прогностичний) аналіз: розрахувати гранично допустимі дози внесення добрив на водозборі, за яких екосистема ще здатна до самовідновлення.

Метою дослідження є оцінити екологічні ризики та часову динаміку розвитку евтрофікації і гіпоксії у прісноводній водоймі під впливом дифузного змиву фосфорних добрив за допомогою комп’ютерної імітаційної моделі.

В основу імітаційної екологічної моделі покладено концепцію трофічного ланцюга та кругообігу речовин у водоймі. Модель аналізує три основні взаємопов’язані екологічні показники: концентрацію доступного мінерального фосфору, біомасу ціанобактерій та вміст розчиненого у воді кисню.

Зовнішнє агрогенне навантаження в моделі визначається на основі норми внесення добрив, площі сільськогосподарських угідь, коефіцієнта поверхневого стоку та показників водної ерозії. Динаміка вмісту фосфору враховує його надходження з виносів, споживання фітопланктоном на побудову клітинних структур, природне осадження на дно у зв'язаному стані, а також вторинне надходження в результаті деструкції відмерлих водоростей.

Рівень біомаси фітопланктону визначається питомою швидкістю його росту, яка обмежується наявністю доступного фосфору за класичною екологічною залежністю напівнасичення, а також коригується залежно від температури води та рівня сонячної інсоляції. Втрати біомаси фітопланктону описуються через показники природного відмирання та виїдання зоопланктоном.

Баланс розчиненого кисню враховує надходження за рахунок фотосинтетичної аерації та фізичного обміну з атмосферою, а витрати – на дихальні процеси гідробіонтів та біохімічне споживання кисню при гнитті відмерлої біомаси.

Аналіз екологічних сценаріїв виконано для умов неглибокої прісноводної водойми у теплий літній період при температурі води близько двадцяти чотирьох градусів за Цельсієм. На основі системного аналізу трофічних зв'язків розглянуто кілька основних сценаріїв трансформації водного середовища.

При оліго-мезотрофному сценарії з незначним внесенням добрив спостерігається природна рівновага з низькою біомасою водоростей та високим рівнем кисню, що зберігає прозорість води та стабільність гідробіоценозу. Помірний евтрофний сценарій викликає тимчасове «цвітіння» води та частковий дефіцит кисню.

Гіперевтрофний сценарій, що відповідає високим нормам внесення добрив у поєднанні з інтенсивними зливами, викликає спалах ціанобактерій та катастрофічне падіння рівня розчиненого кисню до значень, нижчих за критичний поріг для життя риб.

Модель продемонструвала наявність трьох часових фаз екологічної деструкції. Перша фаза – це приховане накопичення фосфору у перші два тижні після стоку. Друга фаза характеризується вибуховим ростом біомаси ціанобактерій у наступні два тижні. Третя фаза є етапом масового відмирання водоростей з формуванням аеробного колапсу та заморних явищ на другий місяць після змиву добрив.

Для розуміння механізмів трансформації нітрогенвмісних сполук, оптимізації водоохоронних заходів та створення інструментів управління річковим басейном у даному дослідженні застосовано методи математичного моделювання. Фундаментальним інструментом опису поширення забруднювачів у руслах річок є одновимірне рівняння адвекції-дифузії-реакції. Застосування одновимірного рівняння адвекції-дифузії-реакції дозволило математично описати зону максимальної токсичності нижче точок скиду (рис. 1).

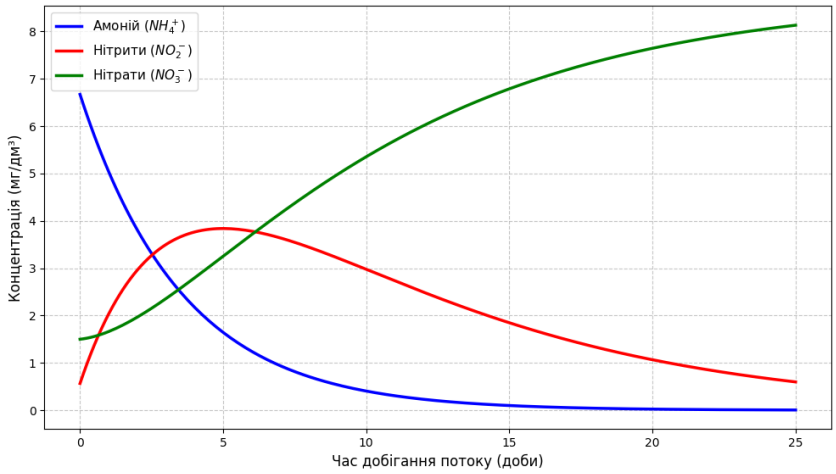


Рис. 1. Математичне моделювання та прогнозування динаміки поширення забруднюючих речовин

Згідно з моделлю, у зоні безпосередньо після скиду неочищених стічних вод концентраційна крива амонію починає експоненційно спадати. Водночас крива нітритів не спадає, а стрімко зростає, проходячи через яскраво виражений максимум – так званий "нітритний горб". У міру подальшого просування водної маси вниз за течією, модель фіксує поступове накопичення нітратів. Далі за течією рівень нітрогенвмісних сполук зменшується за рахунок самоочищення.

Отже, проведене імітаційне моделювання підтвердило, що дифузний змив фосфорних добрив із сільськогосподарських угідь є потужним драйвером деградації прісноводних екосистем, здатним перевести водойму у гіперевтрофний стан за кілька тижнів. Ключовою екологічною небезпекою евтрофікації є вторинний кисневий дефіцит, який виникає під час розкладання відмерлої органіки і призводить до вимирання аборигенної іхтіофауни та бентосу. Головними екологічними тригерами, що підсилюють негативний ефект добрив, є високі літні температури води та зливовий характер опадів одразу після внесення добрив. Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні необхідності суворого дотримання режимів водоохоронних зон шляхом створення залужених та залісених буферних смуг для перехоплення поверхневого стоку, а також переходу до технологій точного землеробства для мінімізації виносу фосфатів у гідрографічну мережу.

СИСА В.О. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ДВОШАРОВА АРХІТЕКТУРА ВБУДОВАНОГО МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ В ПОБУТОВИХ СИСТЕМАХ ФІЛЬТРАЦІЇ

Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна; vladyslav.o.sysa@lpnu.ua

Abstract. The paper describes the architecture of an embedded module for monitoring reverse osmosis (RO) membranes in household filtration systems and a data collection strategy for predicting their remaining life. The module combines a classical machine learning model running on an ESP32 microcontroller for instant water quality classification with an LSTM network that analyses time series and predicts membrane degradation. A minimal sensor set is proposed, with the rejection rate as the main degradation indicator. Data come from a public dataset, synthetic degradation series for LSTM pre-training and field trials in five household systems. The approach aims to replace scheduled membrane replacement with condition-based replacement and thus to reduce polymer waste.

Подовження життєвого циклу побутових пристроїв і скорочення відходів є складовою сталого розвитку. У побутових фільтрах зворотного осмосу найдорожчим елементом є мембрана, яку міняють переважно за календарем, хоча її ресурс залежить від якості вхідної води та непланованих викидів брудної води (наприклад після ремонту водопроводу). Такий підхід не враховує умов експлуатації, тому мембрана може бути утилізована, поки ще придатна, або залишитися в системі, але не виконувати своїх функцій. Методи машинного навчання застосовують як для оцінювання якості води [1], так і для прогнозування забруднення мембран [2, 3], проте їх використання в побутових системах із мінімальним набором датчиків і вбудованими обчисленнями залишається недостатньо дослідженим. Метою роботи є опис архітектури вбудованого модуля контролю та методики збору даних для прогнозування ресурсу мембрани.

Двошарова обробка. Модуль поєднує два рівні аналізу. Шар 1 – класична модель машинного навчання для миттєвої класифікації якості води, яка працює безпосередньо на мікроконтролері ESP32 без доступу до мережі, що відповідає підходу TinyML [4]. Порівняння моделей для цього шару, за результатами якого обрано метод опорних векторів (SVM, 429 КБ згенерованого коду), викладено в [5]. Шар 2 – рекурентна мережа LSTM, що аналізує часові ряди вимірювань і прогнозує залишковий ресурс мембрани; вона працює на локальному сервері Raspberry Pi. Вхідними ознаками Шару 2 слугують TDS на вході та виході мембрани, температура, тиск, витрата та розрахований коефіцієнт затримання; вихідною величиною є залишковий ресурс мембрани.

Сенсорний набір. Мінімальний набір датчиків (табл. 1) обрано так, щоб відстежувати стан саме мембрани, а не якість водопровідної води. Тому до нього не включено pH-датчик, який потребує частого калібрування, та датчик каламутності. Основним індикатором деградації є коефіцієнт затримання (rejection rate):

$$R = (1 - TDS_{out} / TDS_{in}) \cdot 100\ \% \qquad (1)$$

де TDS_{in} і TDS_{out} - мінералізація води до та після мембрани.

Таблиця 1

Мінімальний сенсорний набір модуля

Параметр	Датчик	Призначення
Мінералізація до й після мембрани	2 × TDS, вбудовані, G1/4″	Дозволяє розрахувати коефіцієнт затримання
Температура	2 × DS18B20 у гільзі з нержавійки	Вимірює температуру
Тиск	DFRobot SEN0257, 0–10 бар	Вимірює робочий тиск у системі
Витрата	YF-S201	Фіксує об’єм води

Наукова новизна. Запропоновано двошарову архітектуру методів машинного навчання для побутових радіоелектронних систем контролю якості води, що поєднує два підходи, які зазвичай розглядають окремо. Шар 1, це класична модель (SVM) для миттєвої класифікації якості води на статичних вимірах, оптимізована для виконання на мікроконтролері ESP32. Шар 2 – рекурентна мережа LSTM, яка аналізує часові ряди та прогнозує залишковий ресурс фільтраційної мембрани. Особливістю підходу є те, що контроль спрямовано на стан самої мембрани за різницею мінералізації на вході та виході, а не лише на якість вхідної води.

Стратегія даних. Для навчання моделей передбачено три джерела. Публічний набір Water Potability [6] використовується для Шару 1. Синтетичні часові ряди деградації, побудовані за відомими моделями забруднення мембран (зокрема Hermia) і доповнені прискореними експериментами на недорогій мембрані зі штучно забрудненою водою (2–4 тижні), призначені для попереднього навчання LSTM. Польові дані з побутових систем зворотного осмосу, що збиратимуться близько 12 місяців, слугуватимуть для донавчання та перевірки; ground truth становитимуть дати фактичної заміни мембран. Участь власників систем передбачає письмову згоду, анонімізацію даних і узгодження з комісією з наукової етики університету. Дані зберігаються локально без хмарних сервісів, що забезпечує відтворюваність експерименту та незалежність від інтернету.

Критерії вибору моделей. Для порівняння моделей Шару 1 використано систему критеріїв, що охоплює чотири групи: статистичну якість класифікації, обчислювальну ефективність, апаратну сумісність із ESP32 та робастність до пропусків у даних. Такий підхід дозволяє оцінювати модель не лише за точністю, а й за можливістю її реального впровадження в побутовому пристрої.

Критерій перевірки. Якість прогнозу ресурсу оцінюватиметься за розбіжністю між прогнозованою та фактичною датою заміни мембрани. Порівняння із замінами за регламентом дасть змогу кількісно оцінити потенційне скорочення відходів.

Робочі гіпотези. Подальші дослідження спрямовано на перевірку чотирьох гіпотез: двошарова архітектура виявляє деградацію мембрани точніше, ніж кожен із шарів окремо; класичні методи машинного навчання краще придатні для Шару 1 на ESP32, ніж глибокі мережі; мінімального набору датчиків достатньо для виявлення деградації за коефіцієнтом затримання; заміна мембрани за прогнозом скорочує обсяг відходів порівняно з фіксованим графіком.

Обмеження. Набір Water Potability описує якість природних вод, а не воду на виході мембрани, тому його використано лише для добору класу моделей Шару 1; перенесення результатів на реальні умови потребує польових даних. Строк збору даних може бути коротшим за повний ресурс мембрани, тому дати фактичної заміни матимуть не всі системи. Для компенсації передбачено попереднє навчання LSTM на синтетичних рядах деградації.

Практичне значення. Заміна мембрани за станом замість календарної має дозволити продовжити термін використання працездатних мембран і зменшити обсяг утилізованих фільтраційних елементів. Локальна обробка даних не потребує хмарних сервісів, тому рішення придатне для побутових систем без стабільного доступу до інтернету.

Подальші дослідження. Наступними етапами є виготовлення лабораторного прототипу модуля, його підключення до побутових систем зворотного осмосу, збір польових даних і донавчання LSTM. Прогнозовані дати заміни мембран буде порівняно з фактичними та з календарною заміною. За результатами будуть підготовлені рекомендації щодо впровадження модуля.

Висновки. Описано двошарову архітектуру вбудованого машинного навчання для контролю якості води та прогнозування ресурсу мембран побутових систем зворотного осмосу. Обґрунтовано мінімальний сенсорний набір, що орієнтований на коефіцієнт затримання, і запропоновано комбіновану стратегію даних з попереднім навчанням LSTM на синтетичних рядах та донавчанням на польових даних. Результати польових випробувань, необхідні для оцінювання ефекту скорочення відходів, будуть отримані на наступних етапах дослідження.

Список літератури:

1. Zhu, M., Wang, J., Yang, X., Zhang, Y., Zhang, L., Ren, H., Wu, B., & Ye, L. (2022). A review of the application of machine learning in water quality evaluation. *Eco-Environment & Health, 1*(2), 107–116. https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.06.001

2. Niu, C., Li, X., Dai, R., & Wang, Z. (2022). Artificial intelligence-incorporated membrane fouling prediction for membrane-based processes in the past 20 years: A critical review. *Water Research, 216*, Article 118299. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118299

3. Abuwatfa, W. H., AlSawaftah, N., Darwish, N., Pitt, W. G., & Husseini, G. A. (2023). A review on membrane fouling prediction using artificial neural networks (ANNs). *Membranes, 13*(7), Article 685. https://doi.org/10.3390/membranes13070685

4. Ray, P. P. (2022). A review on TinyML: State-of-the-art and prospects. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, 34*(4), 1595–1623. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.11.019

5. Сиса, В., & Яковенко, Є. (2026). Інформаційні технології вбудованого машинного навчання для моніторингу деградації мембрани зворотного осмосу як передумова зменшення обсягу відходів фільтраційних елементів [Тези доповіді]. *Матеріали конференції ITEP-2026*. Національний університет «Львівська політехніка». https://science.lpnu.ua/uk/itep-2026/materialy-konferenciyi-itep-2026

6. Kadiwal, A. (2021). *Water quality dataset*. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/adityakadiwal/water-potability

МОЛЧАНОВ Л.С., ГОЛУБ Т.С. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України
49050, пл. Ак. Стародубова, 1, Дніпро, Україна; office.isi@nas.gov.ua

Abstract. The global relevance of the basic oxygen steelmaking process was highlighted. The importance of continuously improving this process which is impossible without physical modeling was noted. Current trends in the development of physical modeling methods for metallurgical processes were outlined; these trends facilitated the acquisition of new fundamental knowledge and the improvement of the process's environmental performance.

Не дивлячись на оголошений більше десяти років тому загальний виклик щодо розробки й впровадження альтернативного ланцюгу виробництва сталі, маршрут «доменна піч - киснево-конвертерний процес» все ще залишається домінуючим у світовій практиці. У світовому масштабі частка киснево-конвертерного способу виплавки сталі складає 69,4 %, а в Україні 50 % (для порівняння – електродуговий спосіб – 6,6 %). Відомо, що інтенсивність викидів парникових газів за вказаним маршрутом складає 2,66 т/т сталі, з яких 9 % – частка впливу киснево-конвертерного способу. Цей спосіб виплавки постійно вдосконалюється у напрямку зниження частки чавуну у металевій завалці (зниження впливу найбільш негативно вагомої складової) та підвищення металевого брухту. У зв’язку із цим основною задачею є забезпечення та підтримка теплового стану ванни. Вирішити її можливо, наприклад, за рахунок використання продувних пристроїв спеціальної конструкції, відпрацювання технології використання яких потребують проведення різнопланових досліджень. Існуючі на сьогодні методи дослідження металургійних процесів зосереджені на фізичному низькотемпературному моделюванні або чисельному моделюванні. Останнє беззаперечно надає більше можливостей, як варіювання у широкому діапазоні параметрами впливу, врахування більшої їх кількості тощо. Однак результати, які воно може надати, залежать від заданої дослідником системи рівнянь, які отримують та валідують шляхом реального фізичного експерименту.

Методи та методики фізичного моделювання металургійних процесів, а саме кисневоконвертерного способу виплавки сталі, постійно вдосконалюються під дією світового технічного на технологічного прогресу. Найбільш розповсюджений за доступністю та простотою реалізації спосіб фізичного моделювання проводиться на низькотемпературних фізичних моделях із дотриманням масштабу та критеріїв подоби до промислових конвертерів. Основні модельні речовини: вода та стиснене повітря. Довгий час такий спосіб моделювання був якісним і давав загальне розуміння взаємодії газових потоків з рідиною. Однак із розвитком техніки та методики проведення й інтерпретації результатів досліджень цей спосіб моделювання отримав можливість надавати кількісні показники. Найбільш важливим поштовхом до розвитку методики фізичного моделювання став прогрес та доступність високошвидкісної цифрової відеотехніки з високою роздільною здатністю при поєднанні з комп’ютерним забезпеченням для оцифрування результатів. Це дозволило дослідникам фіксувати та досліджувати макро- та мікроявища, які супроводжують гідрогазодинамічні процеси продувки за використання різних дуттьових пристроїв. До того ж розвиток хімічної промисловості надав можливість проводити багатофазне моделювання (з імітацією не тільки сталевого, але й шлакового розплаву спеціальними речовинами, як поліметилсиліконова олія, кінематична в’язкість якої співпадає з реальними показниками шлакового розплаву). А наявне сучасне вимірювальне обладнання з можливістю автоматичного збору даних у цифровому форматі за реального часу дозволило значно розширити розуміння ключових фізико-хімічних процесів, що відбуваються за розчинення та розповсюдження домішок під час реального процесу виплавки. Отримані за результатами досліджень більш точні коефіцієнти перерахунку на реальні промислові умови дозволили створити методичну інформацію для промислового використання продувних пристроїв.

Окрім цього удосконалення методів фізичного моделювання металургійних переділів надає можливостей проведення розрахунку оптимізації енергоспоживання та відпрацьовувати робочі режими продувки. Це сприяє мінімізації споживання витратних матеріалів. А більш розвинене розуміння технологічних процесів також сприяє пошуку шляхів зниження викидів парникових газів та утворення технологічного пилу, що позитивно впливає на екологічні показники процесу виплавки сталі в цілому.

МОЛЧАНОВ Л.С., ГОЛУБ Т.С., ЧМИРКОВ А.О. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ МІНІМІЗАЦІЇ НАСТИЛЕУТВОРЕННЯ В МЕТАЛУРГІЙНИХ КОВШАХ

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України
49050, пл. Ак. Стародубова, 1, Дніпро, Україна; office.isi@nas.gov.ua

Abstract. The technological and environmental aspects of the impact of skull formation in metallurgical ladles were presented. The negative effects of the most common method for skull removal – mechanical cleaning – were highlighted. The positive impact of the chemical skull-removal technology under study, which utilizes a reagent containing secondary raw materials, was noted.

Серед переліку металургійного устаткування особливої уваги потребують металургійні ковші (чавуновозні, заливні, сталерозливні та ливарні), оскільки вони не мають у своєму складі автономного джерела теплоти і будь-яке порушення температурного режиму та тривалості операцій приводить до утворення настилів у різних частинах робочого простору. За складом настилі, які утворюються на металургійних ковшах, мають складну структуру (містять металеву та шлакову складову). Крім того, вони можуть глибоко просочувати вогнетриви, що значно ускладнює операції видалення й можуть потребувати повної заміни певної ділянки футерівки. Це впливає на собівартість кінцевого продукту, загальну продуктивність процесу та експлуатаційні показники цього устаткування. Найбільш простим методом боротьби з настилями є метод механічної очистки. Для здійснення цієї операції ківш необхідно вивести на деякий час з основного циклу виробництва (в середньому операція займає 2 – 6 годин) й охолодити до температури нижче 400–600 °С (для порівняння, температура експлуатації вище 1000 °С). Відповідно для подальшого повернення ковша до виробничого циклу його необхідно буде розігріти. Середні витрати теплоти на розігрів ковша складають 8–15 кВт·год/т сталі за умов збільшення витрати природного газу на розігрів на 20–30 % у порівнянні зі звичайним міжплавочним прогрівом [1]. Також необхідно буде додатково підвищити температуру випуску сталі в ківш з печі на 15–25 °С для підтримки теплового балансу, що знову потребує додаткових енергетичних витрат. Операція механічного видалення настилю призводить до відколювання частин робочого шару вогнетриву та значно зменшує робочий шар футерівки (за одну грубу очистку товщина знижується на 10–30 мм). Як результат, знижується загальна стійкість футерівки ковша на 15–25 %. Крім того, з настилем у відвал або на вторинну переробку потрапляє 0,5–3,0 тони металу. При перерахунку на масштаб цеху ця операція знижує вихід придатного рідкого металу на 0,2–0,5 %. Відповідно у сукупності загальний негативний ефект від операції механічної чистки збільшує собівартість виробництва сталі в середньому на 1,5 – 4 $ США на т сталі.

Свої переваги має хімічний спосіб видалення настилів за допомогою спеціальних реагентів, які додають на поверхню металевого розплаву. Вони реагують хімічно з настилем, переводячи його в рідкий або крихкий стан. Однак і цей спосіб має недоліки, пов’язані з хімічною ерозією вогнетриву (особливо так званого «шлакового поясу»), можливістю виділення токсичних газів, вторинного забруднення складовими реагенту металевого розплаву. Крім того, більшість реагентів має значну вартість, що впливає на загальну собівартість кінцевого продукту. Враховуючи викладене актуальною задачею є розробка раціонального складу реагенту та методу його введення для видалення настилю з металургійних ковшей зі збереженням тривалості експлуатації футерівки, екологічності процесу та якості кінцевої металопродукції. Також важливим для металургійних підприємств є залучення вторинної чи оборотної сировини, кількість якої щорічно зростає у геометричній прогресії. Тому актуальним є пошук можливостей застосування у складі подібних реагентів вторинної сировини та екологічно лояльних компонентів. В контексті вітчизняних металургійних та ливарних підприємств зазначена тема значно актуалізується з урахуванням особливостей функціонування підприємств в умовах воєнного стану (періодичні відключення електричного живлення, відсутність якісних шихтових матеріалів, дефіцит кваліфікованих кадрів для забезпечення технологічного циклу, порушення технологічних операцій у наслідок недотримання рекомендованих термінів виконання певних операцій).

Список літератури:

1. Acciarito, E., Barbosa, A. A., Carneiro, H. A., Lapa, C. J. B., Pimpinella, V. (2023) Skull removal device in lances of BOF process. *Prosc. of AISTech Conference, Detroit, Michigan, USA, May 2023*. https://doi.org/10.33313/387/090

POLIAKOV V., POLIAKOV Yu. (UKRAINE, KYIV)

ENGINEERING APPLICATIONS OF THE THEORY OF SUBMERGED AERATED BIOFILTRATION

Institute of Hydromechanics, National Academy of Sciences of Ukraine
8/4, Marii Kapnist St., Kyiv, 03057, Ukraine; vpoliakov.ihm@gmail.com

Abstract. An effective engineering method for calculating SAF performance has been developed for the removal of readily oxidizable substrate and nitrogen under intensive aeration of the filter bed. A substantial improvement in the removal of important contaminants from wastewater has also been demonstrated and quantified, resulting from maintaining the dissolved oxygen concentration at a sufficiently high level.

Attached-growth microbial biomass filtration systems, namely submerged aerated filters and trickling biofilters, are successfully used for primary and secondary (tertiary) treatment of contaminated water. Submerged filter bioreactors are more economical due to their higher hydraulic loading capacity. The concentration of dissolved oxygen available to microorganisms (heterotrophs) in the treated water is of critical importance for the biodegradation of the readily biodegradable fraction of organic pollutants, which constitutes a substantial portion of the overall organic load. Because of its low solubility, without intensive aeration of the filter bed, only residual amounts of organic matter can be removed, while a substantial reduction in its concentration in highly polluted water (wastewater of various origins) is virtually impossible. In the former case, it is often sufficient to increase the concentration of dissolved oxygen in advance to values approaching its solubility limit (the saturation concentration at a given temperature). In the latter case, however, a substantial additional amount of the oxidant must be supplied to the filter bed. As a rule, a countercurrent air flow (bubbling) is established through the filter bed, resulting in the formation of a stable dispersed gas phase. Thus, the working medium becomes a four-phase system.

The extensive experience gained from operating submerged aerated filters (SAFs) does not allow their operation to be optimized, primarily because of the wide range of process conditions, including organic and other pollutant loads, hydraulic loading, and aeration intensity. The only practical way to achieve maximum performance from SAFs is to use mathematical modeling. Due to the dominance of convective transport of pollutant components, oxygen, and air, the basic mathematical macromodel (in the bulk volume) primarily comprises a system of four first-order nonlinear ordinary differential equations for the concentrations of readily biodegradable organic matter S, nitrogen N, oxygen in the liquid phase O, and oxygen at the phase interface O_a, together with a microbial biomass balance equation (biomass concentration B). The boundary-condition operator comprises a set of first-kind boundary conditions representing the concentrations of the principal pollutants and oxygen in the influent water, as well as the oxygen concentration in the air supplied through the lower surface of the filter bed.

In developing an engineering method for calculating SAF performance, submerged biofiltration was considered using analytical and numerical methods, taking into account the possible pre-aeration of the influent water (without formation of a gas phase) and intensive aeration within the filter bed through its lower surface (bubbling). In the former case, with the volumetric oxygen mass-transfer coefficient $K_L a$ equal to *0*, an exact solution to the original problem was obtained, allowing the distributions and effluent values of the relative concentrations $\bar{S}, \bar{O}, \bar{N}$ to be calculated accurately and straightforwardly. In the latter case, these characteristics, as well as the concentration $\bar{O}_a$, must be determined numerically using standard mathematical analysis software packages (Mathcad was used in our studies). Some complications in the calculations arose from the specification of boundary conditions at different boundaries. Therefore, a series of calculations had to be performed, varying the initially specified value $\bar{O}_{a0}$ (at $z = 0$) until the calculated value $\bar{O}_{ae}$ matched the prescribed value.

It is worth noting, in particular, the significant difficulties in the calculations arising from the limited biomass-holding capacity of the porous filter medium. At high substrate concentrations in the water, which are characteristic of wastewater of various origins but may also occur during the tertiary treatment of contaminated water, a zone of maximum biomass saturation of the working medium develops. The variations in the aforementioned characteristics within this zone were successfully described using specialized analytical relationships. Using these relationships, the values of the characteristics at the lower boundary of this zone are determined and then used as new boundary conditions, with the corresponding problem formulated for the

lower section of the filter bed. The position of the lower boundary of the zone with the maximum biomass concentration is determined from the biomass conservation condition.

Particular attention should be paid to the importance of the active microbial biomass loss (renewal) rate, I_B, for the treatment of waters with complex contamination (wastewater). This rate is conventionally described by the following functional expression:

$$I_B = k_d(B)B, \tag{1}$$

where the reduced rate coefficient k_d is assumed to have either a linear form

$$k_d(B) = k_{d1} + k_{d2}B \tag{2}$$

or a power-law form

$$k_d(B) = k_{d0}B^{m_B}. \tag{3}$$

For the more commonly used form (2), both coefficients have a substantial effect on the performance of submerged biofilters. However, the nature of their effects differs markedly.

A comprehensive quantitative analysis of submerged biofiltration was conducted using a range of representative cases. The input data were obtained from the literature. The objectives of this analysis were to illustrate the developed calculation method, identify patterns in the water-treatment process, and assess the significance of key model coefficients. The theoretical studies focused on the distributions and characteristic values of the principal parameters of submerged aerated biofiltration.

The calculated relative substrate concentration profiles, obtained from exact expressions for different forms of the utilization function, confirmed the high efficiency of intensive aeration within the filter bed in maintaining the performance of the submerged filter bioreactor. In addition to the baseline case involving coupled limitation by S,O,N, three cases corresponding to different levels of oxygen saturation in the liquid phase were also considered. In particular, the results made it possible to assess the process implications of increasing the dissolved oxygen concentration throughout the entire working layer to the maximum value $9gO_2/m^3H_2O$, or to the actual value $6gO_2/m^3H_2O$. In addition, the limiting case in which the process is not oxygen-limited was particularly illustrative. In the cases considered above, k_{d1} was assumed to be equal to $k_{d2}\,(0.3)$. If, however, $\bar{k}_{d1} = 0, \bar{k}_{d2} = 0.6$ was assumed, the relative effluent substrate concentration under oxygen-deficient conditions decreased substantially. Thus, results obtained clearly demonstrated a significant positive effect on substrate utilization resulting from a sustained increase in the dissolved oxygen concentration in the filter bed. Incidentally, oxygen saturation of the liquid phase had a similar effect on the effluent nitrogen concentration.

From both practical and economic perspectives, the air flow rate supplied under the dispersed-bubble aeration regime V_g is of critical importance. The significance and diversity of the effects of V_g on the conditions at the filter bed outlet were demonstrated by the calculated values of the principal biofiltration characteristics. The results included the dependence on V_g of, first, the relative effluent concentrations of organic matter $\bar{S}_e$ and ammonium nitrogen $\bar{N}_e$; second, the coordinate of the boundary of the zone containing the maximum biomass concentration $\bar{z}_m$; and, third, the relative dissolved oxygen concentrations at the lower boundary of this zone $\bar{O}_m$, and at the filter-bed outlet, $\bar{O}_e$. These parameters corresponded to the initial influent concentrations of substrate $S_0 = 200\,gCOD/m^3H_20$, nitrogen $N_0 = 20\,gN/m^3H_20$, and oxygen $O_2 = 9\,gO_2/m^3H_20$. First, it should be noted that the relationship between $\bar{S}_e$ and V_g was strongly nonlinear. The value of $\bar{S}_e$ changed primarily at relatively low aeration rates, from 0.8653 at $V_g = 0$ to 0.078 at $V_g = 3m/h$, and then stabilized at $V_g > 3m/h\,(S_e = 0.023)$. In contrast, the concentration of $\bar{N}_e$ decreased nearly uniformly as V_g increased, up to a value of 0.511. Its value then also stabilized. As expected, an increase in water contamination led to the accumulation of a greater amount of biomass and, consequently, to an increase in the coordinate $\bar{z}_m$, so that the zone with maximum biomass concentration eventually occupied nearly half of the filter bed. However, changes in $\bar{z}_m$ occurred predominantly up to $V_g = 2m/h$ and became relatively small at $V_g > 3m/h$. The dissolved oxygen concentration was particularly sensitive to the aeration rate. In future research, it would be worthwhile to investigate in greater depth the patterns governing the transformation of slowly biodegradable organic matter and the simultaneous removal of all fractions of organic contaminants.

ГАЛІНСЬКА Т.А., НЕСТЕРЕНКО М.М., ЮШКО М.В. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА)

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ РЕЦИКЛІНГУ БЕТОННОГО БОЮ У ВИРОБНИЦТВІ БЕТОНІВ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36011, просп. Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, Україна

Abstract. The reuse of concrete demolition waste as recycled aggregate is a promising approach to reducing the environmental impact of the construction industry. Recent experimental studies on recycled concrete aggregate (RCA) show that partial or complete replacement of natural aggregate can reduce primary mineral-resource consumption and the amount of construction waste requiring disposal. The paper compares published results for different RCA replacement levels and considers the influence of aggregate origin, water absorption, grading, effective water-to-cement ratio and curing age. The environmental benefits of recycling should be combined with ensuring the required mechanical properties and durability of new concrete.

Будівельна галузь належить до найбільш ресурсних секторів економіки, оскільки виробництво бетонів потребує значних обсягів природних мінеральних матеріалів. Одночасно реконструкція, демонтаж та руйнування будівель і споруд супроводжуються утворенням великої кількості бетонного та залізобетонного бою. Традиційне складування таких відходів потребує земельних ресурсів, додаткового транспортування та не забезпечує повернення мінеральної сировини у господарський цикл. Тому повторне використання бетонного бою є важливим напрямом зменшення техногенного навантаження, ресурсозбереження та реалізації принципів циркулярної економіки у будівництві.

Одним із технологічно доступних напрямів є дроблення бетонного бою з отриманням вторинного бетонного заповнювача (recycled concrete aggregate, RCA) та його використання для часткової або повної заміни природного щебеню. Екологічний ефект такого рішення формується одночасно за двома напрямами: зменшується обсяг мінеральних відходів, що потребують видалення, та скорочується споживання первинних природних заповнювачів. Для територій із значними обсягами демонтажу і відновлення додаткового значення набуває можливість локального перероблення бетонного бою та повторного використання отриманого матеріалу.

Разом з тим екологічна доцільність RCA повинна підтверджуватися технічною придатністю нового бетону. Вторинний заповнювач відрізняється від природного щебеню наявністю старого цементного розчину на поверхні зерен. Це підвищує пористість і водопоглинання, зменшує густину та формує додаткові контактні перехідні зони у структурі нового бетону. За даними Zheng та ін. [1], водопоглинання природного крупного заповнювача становило 1,2 %, RCA - 2,7 %, а вторинного заповнювача з керамічної цегли - 14,9 %. Отже, властивості продуктів рециклінгу необхідно враховувати під час призначення водоцементного відношення і складу бетонної суміші.

Порівняння сучасних експериментальних досліджень свідчить, що однаковий відсоток заміни природного заповнювача не забезпечує однакової зміни міцності. Zheng та ін. [1] досліджували бетони C25 і C50 при 0, 25, 50, 75 та 100 % RCA. Завдяки коригуванню гранулометричного складу вторинного заповнювача при повній заміні природного щебеню зниження 28-добової міцності становило лише 7,2 % для C25 і 9,6 % для C50. Натомість Du та ін. [2] встановили зменшення міцності при стиску з 27,33 МПа для контрольного бетону до 20,18 МПа при 100 % RCA, тобто приблизно на 26,2 %.

Таблиця 1

Порівняння результатів досліджень впливу рециклінгових заповнювачів на міцність бетону

Дослідження / показник	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Zheng та ін. [1], C25, зміна f28	0	-2,0 %	-4,4 %	-5,6 %	-7,2 %
Zheng та ін. [1], C50, зміна f28	0	-2,6 %	-5,9 %	-8,0 %	-9,6 %
Du та ін. [2], fc, МПа	27,33	25,15	23,50	21,98	20,18
Ваі та ін. [3], В/Ц=0,49, МПа	28,27	27,83	25,46	27,44	32,35
Islam та ін. [4], крупний RA, МПа	24,7	-	21,9	20,7	18,8
Islam та ін. [4], крупний+дрібний RA, МПа	24,7	-	20,5	17,8	15,8

Дані табл. 1 показують, що характер залежності не завжди є монотонним. Ваі та ін. [3] при В/Ц = 0,49 отримали зменшення пікового напруження до 25,46 МПа при 50 % RCA, але при 100 % RCA воно становило 32,35 МПа і перевищило контрольне значення 28,27 МПа. Автори пов'язують таку поведінку з комплексним впливом водопоглинання RCA, фактичного водоцементного відношення та структури старого і нового цементного каменю. Це підтверджує, що частка RCA сама по собі не може бути універсальним показником якості рециклінгового бетону.

Важливим є також вид вторинного заповнювача. Islam та ін. [4] для контрольного бетону отримали 28-добову міцність 24,7 МПа. При заміні тільки крупного заповнювача на 50, 75 і 100 % міцність становила відповідно 21,9; 20,7 і 18,8 МПа. За одночасної заміни крупної та дрібної фракцій відповідні значення знизилися до 20,5; 17,8 і 15,8 МПа. Отже, повне залучення продуктів рециклінгу може забезпечувати найбільше скорочення споживання природної сировини, але потребує додаткового технологічного обґрунтування через можливе погіршення механічних характеристик.

Підвищене водопоглинання RCA є одним із ключових чинників розбіжностей між результатами. Fu та ін. [5] для RCA з бетону C35 наводять водопоглинання 6,04 %, а Javadein та ін. [6] для двох крупних фракцій - 6,27-6,45 %. У дослідженні Issa і Hilal [7] показано, що контроль ефективного В/Ц та походження бетонного бою можуть суттєво змінювати результат: окремі склади з вторинними заповнювачами мали 28-добову міцність вищу за контрольну. Тому при оцінюванні екологічної ефективності необхідно враховувати не тільки масову частку заміненого природного щебеню, але й потребу в додатковій воді, спосіб підготовки RCA та якість вихідного бетону.

Довговічність також визначає реальний екологічний ефект матеріалу. Якщо використання вторинної сировини призводить до суттєвого скорочення строку служби конструкції, ресурсна перевага може частково втрачатися. Fu та ін. [5] встановили, що при тривалій сульфатній дії збільшення частки RCA посилювало пізню деградацію: після 360 діб зниження міцності при стиску становило 11,6; 14,5; 15,6 та 20,1 % для 0, 25, 50 і 100 % RA відповідно. Водночас Javadein та ін. [6] показали, що за нормального тверднення відносна різниця між звичайним та рециклінговим бетоном може зменшуватися з віком; для 50 і 100 % RA втрати міцності до 365 діб зменшилися приблизно до 4,6 і 9,7 %.

Таким чином, екологічно раціональне використання бетонного бою не слід ототожнювати з безумовним прагненням до 100 % заміни природного заповнювача. Доцільним є пошук такого рівня заміни, який забезпечує істотне скорочення споживання природного щебеню та обсягів відходів при збереженні необхідної міцності і довговічності. Для подальшого експериментального дослідження доцільно прийняти рівні заміни 0, 25, 50, 75 і 100 %, що дозволить визначити характер зміни міцності та зіставити власні результати з опублікованими даними [1-3].

Отже, використання продуктів рециклінгу бетонного бою є перспективним інструментом зниження ресурсного та екологічного навантаження будівельної галузі. Формування циклу «бетонна конструкція - бетонний бій - дроблення і сортування - вторинний заповнювач - новий бетон» сприяє скороченню потреби у первинних мінеральних ресурсах та зменшенню кількості відходів. Водночас для обґрунтованого застосування RCA необхідно контролювати його походження, водопоглинання, густину, гранулометричний склад, ефективне В/Ц, частку заміни та довговічність нового бетону. Саме комплексне врахування екологічних і технічних показників дозволяє розглядати рециклінг бетонного бою як складову сталого відновлення та циркулярного будівництва.

Список літератури:

1. Zheng C., Lou C., Du G., Li X., Liu Z., Li L. Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate. Results in Physics. 2018. Vol. 9. P. 1317-1322. DOI: 10.1016/j.rinp.2018.04.061.
2. Du Y., Zhao Z., Xiao Q., Shi F., Yang J., Gao P. Experimental Study on the Mechanical Properties and Compression Size Effect of Recycled Aggregate Concrete. Materials. 2021. Vol. 14. 2323. DOI: 10.3390/ma14092323.
3. Bai W., Li W., Guan J., Wang J., Yuan C. Research on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete under Uniaxial Compression Based on the Statistical Damage Model. Materials. 2020. Vol. 13. 3765. DOI: 10.3390/ma13173765.
4. Islam Z.U., Farooq S., Shoaib M., Ishfaq M., Ahmad T., Ahmad H. Evaluating the mechanical properties of recycled aggregate concrete with variable coarse and fine aggregate replacements. Discover Civil Engineering. 2025. Vol. 2. Article 174. DOI: 10.1007/s44290-025-00336-3.
5. Fu Y., Zhao Q., Sun Q., Chen S., Shi H., Zhang F., Bai C. Experimental study on the influence of recycled aggregate substitution rate on the mechanical properties of recycled aggregate concrete under sulfate erosion conditions. Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 29405. DOI: 10.1038/s41598-025-14262-y.
6. Javadein S.I., Madandoust R., Mirhosseini S.M. Evaluation of properties and in situ strength of recycled aggregates concrete. Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design. 2026. Vol. 9. Article 84. DOI: 10.1007/s41939-026-01186-x.
7. Issa C.A., Hilal G. Sustainable Construction Materials: Recycled Aggregate Concrete from Known Concrete Strength Debris. The Open Construction & Building Technology Journal. 2023. Vol. 17. e187483682301310. DOI: 10.2174/18748368-v17-e230221-2022-8.

ЛЯШОК І.О., ПЛАВАН В.П., ВОЛОШИНА І.М.,
КОЛОМІЄЦЬ В.Г., ФОМІНИХ Р.Г. (УКРАЇНА, КИЇВ)

РОЗРОБКА КОМПОЗИТНИХ НАНОВОЛОКНИСТИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДООЧИЩЕННЯ

Київський національний університет технологій та дизайну
01011, вул. Мала Шияновська, 2, Київ, Україна; lyashok.io@knutd.com.ua

Abstract. The study addresses the engineering of composite nanofibrous filter media via electrospinning using a polyvinyl butyral (PVB) polymer matrix modified with ionic species of Ag, Cu, Zn, and Fe. The deposition kinetics and areal mass distribution of the nonwoven layer on a textile base were investigated. Morphological screen testing showed that homogeneous spatial entanglements form an effective sieving barrier capable of intercepting bacterial targets (E. coli ATCC 25922) under high hydraulic flow permeability, validating their potential for advanced water purification systems.

Забезпечення належної якості якісної питної води та модернізація очисних споруд належать до стратегічних пріоритетів екологічної безпеки [1]. Стандартні класичні методи механічного та мембранного розділення часто обмежені високим гідродинамічним опором та швидким фолінгом. Передовим напрямом вирішення цих обмежень є конструювання ультратонких волокнистих структур за допомогою методу електроформування, який дозволяє формувати високопористі матриці із керованою архітектурою каналів та значним питомим об'ємом поверхні [2].

Метою дослідження є розробка складів та оцінка фізико-технологічних параметрів композитних нановолокнистих фільтраційних матеріалів, на основі полівінілбутиралю (ПВБ), функціоналізованого наночастинками металів Ag, Cu, Zn, Fe та їх комбінаціями. ПВБ застосовано як полімерну основу завдяки його хімічній інертності, біосумісності та здатності утворювати стабільні комплекси [3]. Формування волокон здійснювали на апараті для електроформування MG-H12 (КНР) з 10 % етанольного розчину ПВБ. Як приймальний колектор слугував барабан із зафіксованим медичним бинтом, розташований на відстані 15 см від формувального капіляра. У робочі розчини вводили колоїдні розчини нанодобавок у об'ємному співвідношенні 9:1.

Введення начасток металів коригує електропровідність і в'язкість системи, досягаючи максимуму масового виходу для складових ПВБ+Ag(1000) та мультиметалевого комплексу ПВБ+(Ag+Zn+Cu). В роботі було проведено мікроскопічний контроль отриманих методом електроформування нетканих фільтрувальних матеріалів на основі ПВБ та нанометалевих добавок. Встановлено формування суцільної, бездефектної сітки взаємопов'язаних волокон (рис.1).

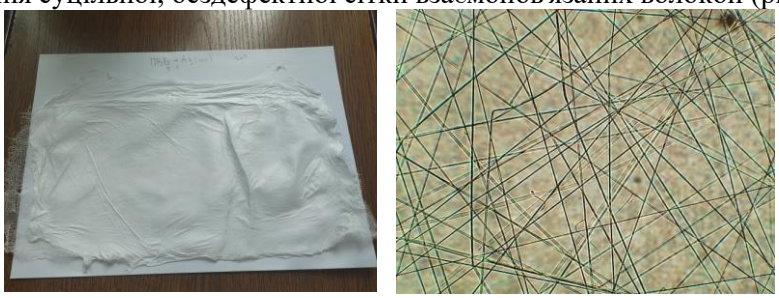


Рис. 1. Нетканий . композитний нановолокнистий фільтрувальний матеріал, одержаний методом електроформування.

Така тривимірна архітектура реалізує ефект ситового затримання часткових контамінантів і мікроорганізмів Escherichia coli ATCC 25922 розміром понад 1 мкм, гарантуючи водночас вільний прохід рідкої фази. Отже, застосування полівінілбутиралю в поєднанні з наночастинками металів при електроформуванні є ефективним технологічним прийомом для створення нових затримувальних мембранних матеріалів у водоочисних системах.

Список літератури:

1. Shcherbakov, I., Kopylova, O., Yakovleva, V., Hryhoruk, I. Poor quality of sewage water in Ukraine: a priority in post-war rebuilding. Scientific Reports, 2025. №15(1), Article 93335. https://doi.org/10.1038/s41598-025-93335-4
2. Kumarage, S., Munaweera, I., Kottegoda, N. A comprehensive review on electrospun nanohybrid membranes for wastewater treatment. Beilstein Journal of Nanotechnology, 2022. №13, 137–159. https://doi.org/10.3762/bjnano.13.10
3. Zhang, Y., Wang, X., Liu, Y., Chen, Z. Synthesis and application of polyvinyl butyral resins: A review. Macromolecular Chemistry and Physics, Article. 2025. e202400478. https://doi.org/10.1002/macp.202400478

KOC-JURCZYK J., PODOLAK A., JURCZYK Ł., JANIK A. (POLAND, RZESZÓW)

LONG-TERM ASSESSMENT OF TREATMENT EFFICIENCY AND OPERATIONAL RELIABILITY OF A HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANT SERVING A RURAL AGGLOMERATION

University of Rzeszów, Faculty of Technology and Natural Sciences, 1b Cwiklinskiej St., 35-601, Rzeszów, Poland; jkoc@ur.edu.pl

Abstract. The study presents a long-term evaluation of treatment efficiency and operational reliability of a municipal wastewater treatment plant serving a rural agglomeration. The analysis was based on monitoring data collected between 2020 and 2025 for biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), and total suspended solids (TSS). The results demonstrated high pollutant removal efficiency and stable operation of the treatment system throughout the study period.

Main text. Municipal wastewater treatment plants play a crucial role in protecting aquatic ecosystems and ensuring compliance with environmental regulations. Assessing both treatment efficiency and operational reliability is particularly important for facilities operating under variable hydraulic and pollution loads. This study evaluates the performance of a municipal wastewater treatment plant with a designed capacity of 9,950 PE and an average flow rate of 1,200 m^3/d. The facility applies a hybrid biological treatment technology combining activated sludge with a floating biofilm bed. The assessment was conducted using monitoring data collected between 2020 and 2025. Analyses included influent and effluent concentrations of BOD_5, COD, and TSS. Treatment efficiency was determined based on pollutant removal rates, while the reliability of the treatment process was evaluated using a reliability coefficient (WN), calculated as the ratio of average effluent concentration to the permissible discharge.

The obtained results confirmed very high treatment efficiency. Average effluent concentrations reached 10.6 mg/L for BOD_5, 72.7 mg O/L for COD, and 15.5 mg/L for TSS, remaining below the discharge standards throughout the entire study period. Mean removal efficiencies were 97.09%, 92.17%, and 95.24% for BOD_5, COD, and TSS, respectively. Reliability coefficients amounted to 0.42 for BOD_5, 0.58 for COD, and 0.44 for TSS, indicating a substantial technological safety margin and full compliance with regulatory requirements. The highest treatment performance was observed in 2024, whereas a temporary decline in BOD_5 removal efficiency occurred during the third quarter of 2025. Despite this fluctuation, no exceedances of permitted effluent standards were recorded.

The novelty of the study lies in the integration of conventional treatment efficiency indicators with long-term reliability assessment over a six-year monitoring period. The results confirm that reliability-based analysis provides valuable additional information regarding technological reserves and process stability, supporting optimization and sustainable operation of municipal wastewater treatment systems

Supported by funding from the Ministry of Science under the Regional Excellence Initiative Programme. Contract No. RID/SP/0010/ 2024/1.

ГРИНЕВИЧ А.О., САБЛІЙ Л.А. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ АЕРАЦІЇ НА ВИДАЛЕННЯ АМОНІЙНОГО АЗОТУ БІОПЛІВКОЮ НА ПОЛІМЕРНИХ НОСІЯХ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
03056, просп. Берестейський, 37, Київ, Україна; abarabaha@gmail.com

Abstract. The effect of aeration intensity on ammonium nitrogen removal by biofilms on three polymer carriers was investigated in batch reactors. At an initial ammonium nitrogen concentration of 40 mg N/L and COD of 200 mg/L, increasing aeration intensity from 30 to 90 L/(L·h) raised removal efficiency after 15 h from 59.9–69.5% to 93.1–97.0%. A further increase to 120 L/(L·h) produced little change. The results support further investigation of air supply, oxygen transfer and biofilm activity to establish operating conditions for biological wastewater treatment.

Іммобілізація мікроорганізмів на носіях є одним із напрямів удосконалення біологічного очищення стічних вод від сполук нітрогену (Hrynevych & Sablii, 2025). У попередніх дослідженнях авторів показано вплив типу носія на очищення від органічних забруднень (Гриневич та ін., 2025). Для подальшого розвитку цих систем важливо встановити, як інтенсивність аерації впливає на видалення амонійного азоту, та яку інтенсивність потрібно вважати раціональною в біореакторах із носіями для забезпечення ефективного очищення стічних вод з мінімальними енергетичними затратами.

Мета роботи – визначити вплив інтенсивності безперервної аерації на ефективність видалення амонійного азоту біоплівкою на полімерних носіях і встановити раціональні значення інтенсивності аерації для досліджених умов.

Дослідження проводили у періодичних біореакторах із робочим об’ємом 6 дм^3 та нерухомо встановленими носіями «Хвиля», «Соти» і «Йорж». Вихідна концентрація амонійного азоту становила 40 мг N/дм^3, ХСК – 200 мг/дм^3, фосфатів – 2 мг/дм^3. Аерацію здійснювали безперервно протягом 15 год. Порівнювали витрати повітря: 180, 360, 540 і 720 дм^3/год, що відповідали інтенсивності аерації в біореакторі: 30, 60, 90 і 120 дм^3/(дм^3·год). Значення розраховано за паспортною продуктивністю компресорів; фактичну витрату повітря не вимірювали. Ефективність визначали за відносним зниженням концентрації амонійного азоту порівняно з вихідною. Узагальнені результати наведено на рисунку.

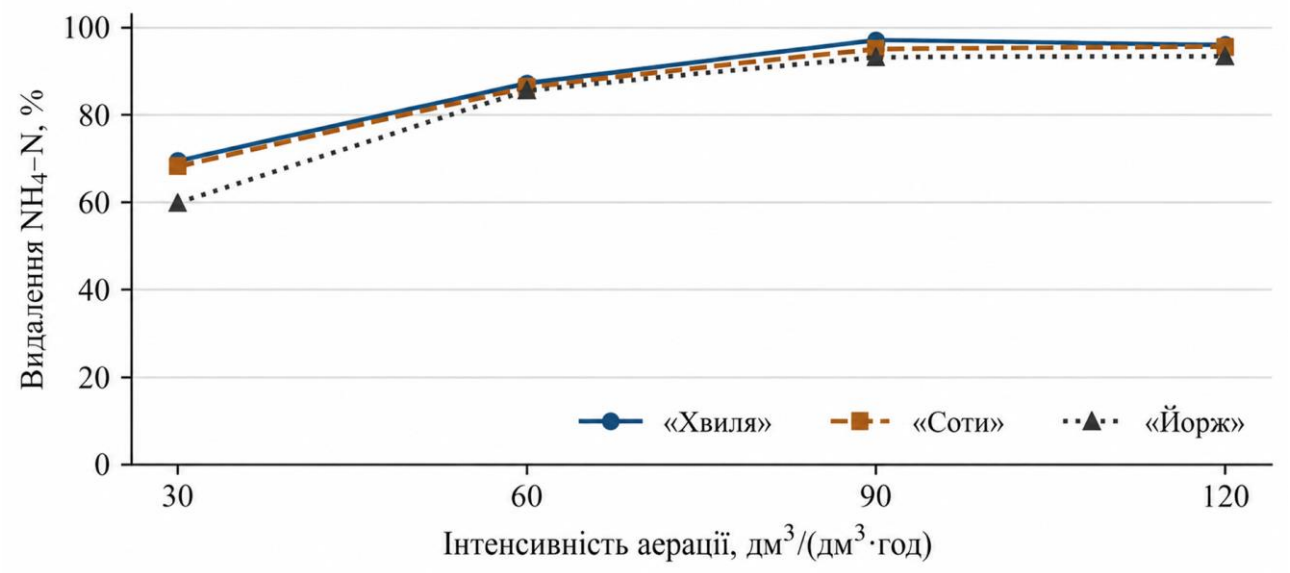


Рис. 1. Ефективність видалення амонійного азоту зі стічних вод за різної інтенсивності безперервної аерації

За інтенсивності аерації 30 дм^3/(дм^3·год) ефективність видалення амонійного азоту становила 69,5% для носія «Хвиля», 68,3% - для «Соти» та 59,9% - для «Йорж». Підвищення інтенсивності до 60 дм^3/(дм^3·год) збільшувало ці показники до 87,3; 86,4 і 85,6%, відповідно. Найвищу ефективність очищення від амонійного азоту для кожного з носіїв або близькі до неї значення отримано за інтенсивності 90 дм^3/(дм^3·год): 97,0% для «Хвиля», 95,0% для «Соти» і 93,1% для «Йорж».

Збільшення інтенсивності аерації від 90 до 120 дм^3/(дм^3·год) супроводжувалося лише невеликими змінами ефективності: від −1,0 до +0,5 відсоткового пункту залежно від носія. Отже, підвищення витрати повітря на 33,3% не забезпечило помітного додаткового ефекту за обраним показником. Ця залежність указує на доцільність подальшого дослідження діапазону поблизу 90 дм^3/(дм^3·год), але сама по собі не визначає енергетично оптимального режиму.

Підвищення ефективності при переході від мінімальної інтенсивності аерації до 90 дм^3/(дм^3·год) може бути пов’язане з одночасним поліпшенням перемішування та перенесення кисню до біоплівки. Посилення циркуляції рідини, ймовірно, сприяло оновленню розчину поблизу поверхні носіїв і надходженню субстрату до мікроорганізмів. Для структурованих носіїв «Хвиля» та «Соти» додатковим чинником могло бути поліпшення обміну рідини у внутрішніх каналах. Оскільки концентрацію розчиненого кисню та характеристики течії не визначали, ці механізми потребують окремої перевірки.

Найбільший приріст ефективності очищення стічної води від амонійного азоту при підвищенні інтенсивності аерації від 30 до 60 дм^3/(дм^3·год) спостерігали для носія «Йорж» – близько 25,8 відсоткового пункту, порівняно з 17,8–18,1 для інших носіїв. Це може вказувати на вищу чутливість біоплівки на цьому носії до умов контакту з рідиною за мінімальної аерації. Водночас пояснювати відмінність лише конструкцією носія передчасно: на результат могли впливати кількість, розподіл і активність прикріпленої біомаси. Зближення показників за більшої витрати повітря узгоджується з припущенням про послаблення зовнішніх масообмінних обмежень.

Обмежений ефект підвищення інтенсивності від 90 до 120 дм^3/(дм^3·год) допускає кілька пояснень. Після поліпшення умов аерації визначальними могли ставати доступність залишкового субстрату, активність біомаси або внутрішня дифузія у біоплівці. Крім того, висока ефективність очищення за тривалості 15 год залишає невеликий резерв для подальшого приросту цього показника. Тому близькі кінцеві значення не виключають відмінностей у швидкості очищення на попередніх стадіях. Для уточнення причин потрібне зіставлення часових залежностей із вимірюваннями кисню та фактичної витрати повітря. Встановлений діапазон стосується дослідженої лабораторної системи; перенесення його на інші конструкції та масштаби потребує перевірки.

Таким чином, за досліджених умов підвищення інтенсивності аерації до 90 дм^3/(дм^3·год) забезпечувало видалення 93,1–97,0% амонійного азоту за тривалості 15 год, тоді як подальше збільшення до 120 дм^3/(дм^3·год) мало обмежений ефект. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вимірювання фактичної витрати повітря, розчиненого кисню та споживаної потужності, а також оцінювання впливу структури біоплівки. Це дозволить уточнити раціональні параметри аерації та обґрунтувати їх застосування у біотехнологіях очищення стічних вод.

Список літератури:

1. Hrynevych, A., & Sablii, L. (2025). The role of microorganism immobilization in the biotechnology of nitrogen compound removal. *Biotechnologia Acta, 18*(1), 30–37. https://doi.org/10.15407/biotech18.01.030

2. Гриневич, А., Саблій, Л., Жукова, В., & Ляшок, І. (2025). Ефективність біологічного очищення стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів на носіях різних типів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (52), 16–23. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.52.16-23

ЖДАНЮК Н.В., ШКАРБАНЬ Р.А. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕРМІЧНОЇ ІММОБІЛІЗАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У КЕРАМІЧНИХ МАТРИЦЯХ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
03057, пр. Берестейський, 37, Київ, Україна, zhdanyukn.kpi@gmail.com

Abstract. The rapid accumulation of spent adsorbents and water treatment sludges necessitates the development of safe innovative disposal technologies in accordance with circular economy principles. The aim of this work was to study the regularities of thermal transformation of polymineral composites based on spent palygorskite sorbent and hydromica for the reliable immobilization of heavy metals Cr(VI) and Co(II). The implementation of the "double barrier" concept is proved, combining physical sealing and chemical microencapsulation of toxicants into a new spinel phase.

Стрімке накопичення відпрацьованих адсорбентів і шламів водоочищення вимагає розробки екологічно безпечних технологій їхньої кінцевої утилізації. Традиційні схеми регенерації часто супроводжуються деградацією активних поверхневих центрів і генерацією високотоксичних елюатів. Тому актуальною є розробка інноваційних природоохоронних технологій, що гарантують довготривалу просторову ізоляцію токсикантів. Метою даної роботи було встановлення закономірностей термічної трансформації полімінеральних композитів на основі відпрацьованого палигорскітового сорбенту та гідрослюди в інтервалі 700–1000 °C для надійної іммобілізації важких металів Cr(VI) та Co(II).

Зразки для випробувань готували шляхом ретельного змішування 20 мас. % відпрацьованого насиченого сорбенту та 80 мас. % пластичної гідрослюди з подальшим напівсухим пресуванням. Термічну обробку здійснювали в лабораторній муфельній печі в діапазоні 700–1000 °C. Комплексний фазовий склад, кристалічну структуру та морфологічні особливості утворених матеріалів досліджували методами рентгенофазового аналізу та скануючої електронної мікроскопії,

Отримані результати доводять реалізацію концепції подвійного бар'єра, яка успішно поєднує фізичну герметизацію структури за рахунок зниження відкритої пористості та хімічне мікрокапсулювання іонів важких металів, завдяки їхньому ізоморфному входженню до кристалічної ґратки новоутвореної шпінельної фази.

У ході експерименту було визначено, що оптимальним температурним режимом для монолітної керамічної консервації є випал за 900 °C. За цих умов досягаються максимальні показники середньої густини до 2,53 г/см³, мінімальна відкрита пористість складала менше 3,3 %, а границя міцності на стиск складала до 36 МПа. Натомість подальше підвищення температури випалу до 1000 °C переводить полімінеральну систему у піропластичний стан із супутнім інтенсивним газовиділенням та макроскопічним спучуванням, що дозволяє розглядати такий матеріал як перспективний легкий пористий заповнювач для будівельного застосування.

Особливу увагу в роботі приділено оцінці екологічної безпеки та хімічної стійкості синтезованих матриць. Аналіз коротких водних витяжок продемонстрував високу ступінь утримання токсикантів: для зразків, випалених за 900 °C, міграція іонів Co(II) у водну фазу виявилася нижчою за межу виявлення приладу (LOD), а концентрація іонів Cr(VI) не перевищувала встановлену межу кількісного визначення (LOQ). Випробування на довготривале вилуговування зразків протягом 28 діб підтвердили, що щільна алюмосилікатна склофаза надійно блокує дифузійні потоки іонів у кислих та лужних середовищах, запобігаючи вторинному забрудненню довкілля.

Запропоноване технологічне рішення гармонійно поєднує завдання енергоощадності, раціонального природокористування та захисту навколишнього середовища,

Список літератури:

1. Bayuo, J. (2024). Sustainable management of spent adsorbents in wastewater treatment: Challenges and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 350, 119532. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119532
2. Shi, Y., et al. (2024). Advantages of the reuse of spent adsorbents and potential applications in environmental remediation: A review. *Green Analytical Chemistry*, 11, 100156. https://doi.org/10.1016/j.gac.2024.100156
3. Zhang, X. (2023). Mineralogical immobilization of heavy metals in ceramic and glass-ceramic matrices. *Ceramics International*, 49(12), 19450–19465. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.03.112

КАРАЧУН М.С., ТИМЧУК І.С., СЛЮСАР В.Т., ШКВІРКО О.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗЕЛЕНИХ ВІДХОДІВ ПЕРЕД АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; maksym.s.karachun@lpnu.ua

Abstract. Green waste represents a significant renewable resource for anaerobic digestion, but its high lignocellulosic content limits biodegradability and methane production. Pretreatment is therefore an important technological step for improving substrate accessibility and digestion efficiency. Mechanical, thermal, cavitation, chemical, and biological methods can disrupt lignocellulosic structures and increase the availability of organic matter for microbial degradation. Particular attention is given to hydrodynamic and ultrasonic cavitation as promising physical methods for intensifying substrate disintegration. The selection of an appropriate pretreatment technology should consider its effect on methane yield, process stability, energy consumption, and overall technological efficiency.

Зелені відходи, що утворюються під час догляду за парками, скверами, прибудинковими територіями та іншими міськими зеленими насадженнями, є значним джерелом органічної сировини для виробництва відновлюваної енергії. До них належать скошена трава, листя, гілки, подрібнена деревина та інші рослинні рештки. Їх накопичення або захоронення спричиняє втрати органічного ресурсу та може супроводжуватися утворенням парникових газів. Водночас анаеробне зброджування дозволяє перетворювати органічну речовину зелених відходів на біогаз і стабілізований органічний залишок.

Основною технологічною проблемою використання зелених відходів як субстрату для анаеробного зброджування є їх складна лігноцелюлозна структура. Целюлоза та геміцелюлоза є потенційно доступними для мікробіологічного розкладання компонентами, однак лігнін обмежує доступ мікроорганізмів до органічної речовини. Унаслідок цього частина енергетичного потенціалу рослинної сировини може залишатися невикористаною. Ефективність її перероблення також залежить від вологості, розміру частинок, співвідношення вуглецю і азоту та компонентного складу відходів.

Важливим етапом підготовки зелених відходів є механічна попередня обробка, зокрема подрібнення, дроблення та перетирання, що збільшує площу контакту субстрату з мікроорганізмами та полегшує гідроліз. Перспективним фізичним методом є кавітаційна обробка, зокрема гідродинамічна та ультразвукова кавітація. Утворення та колапс кавітаційних бульбашок спричиняють локальні гідродинамічні впливи, які можуть руйнувати клітинні та лігноцелюлозні структури, підвищуючи доступність органічної речовини. Кавітація може бути особливо ефективною у поєднанні з механічним подрібненням або іншими методами попередньої обробки. Термічна та хімічна обробка також спрямовані на руйнування структурних компонентів сировини: термічний вплив підвищує доступність органічної речовини, але потребує додаткової енергії, а лужна обробка сприяє частковій деструкції лігніну та потребує контролю утворення інгібувальних сполук. Біологічна попередня обробка із застосуванням грибів, ферментів або спеціалізованих мікроорганізмів характеризується нижчими енергетичними витратами, але може потребувати тривалого часу.

Перспективним напрямом є комбінування різних способів попередньої обробки для підвищення біодоступності зелених відходів. Вибір оптимального методу має враховувати не лише збільшення виходу біогазу та метану, а й енергетичні витрати, тривалість обробки, стабільність анаеробного процесу та можливе утворення інгібувальних сполук. Особливе значення має визначення оптимальної інтенсивності кавітаційного впливу, за якої досягається необхідний рівень деструкції субстрату без надмірного енергоспоживання.

Таким чином, попередня обробка є важливою умовою ефективного анаеробного зброджування зелених відходів. Поєднання механічного подрібнення, кавітаційного впливу та інших методів може підвищити доступність органічної речовини, інтенсифікувати метаногенез і сприяти ефективнішому використанню зелених відходів як відновлюваного енергетичного ресурсу та розвитку циркулярної біоекономіки.

ЩУСЬ В.М. ШИЛО С.І. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

БЕЗФТОРОВА ГАЗОВА ІЗОЛЯЦІЯ З БІОГЕННИМ CO_2 ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ ТОГ-362

НУ «Запорізька політехніка», кафедра «Електричні та електронні апарати»
69011, Україна, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64; e-mail: Nittz.ltd@gmail.com

Abstract. The study substantiates a fluorine-free $N_2/O_2/CO_2$ insulating-gas system containing purified biogenic CO_2 for a 362 kV gas-insulated current transformer. Regulatory requirements, industrial solutions, acceptance-test data of the ELIZ TOG-362 and multiphysics modelling in SCANDRIS V-LAB are integrated. The BIO-AIR-HV-R2 system is evaluated by thermodynamic and reduced-field calculations, while its practical applicability is linked to IEC-based type qualification of the modified transformer. The proposed approach separates model predictions from experimentally confirmed results and defines electrical, thermal, mechanical, sealing and metrological criteria for further validation.

Гексафторид сірки SF_6 упродовж десятиліть застосовується у високовольтному електрообладнанні, як газове електроізоляційне середовище. У вимірювальних трансформаторах струму він забезпечує необхідну електричну міцність внутрішньої ізоляції. Висока електрична міцність SF_6 визначається ефективним захопленням вільних електронів його молекулами, що пригнічує лавинну іонізацію та розвиток електричного пробою; відносна діелектрична проникність газоподібного SF_6 близька до одиниці й не є визначальним параметром його електроізоляційної здатності. Попри високі електроізоляційні характеристики, застосування SF_6 має істотне кліматичне обмеження: потенціал глобального потепління GWP характеризує вплив одиниці маси парникового газу відносно CO_2. Для SF_6 Регламент (ЄС) 2024/573 встановлює GWP_{100} = 24 300, тобто 1 кг SF_6 за 100-річною метрикою відповідає приблизно 24,3 т CO_2-еквівалента [1].

Регламент (ЄС) 2024/573 установлює поетапні обмеження щодо введення в експлуатацію нової електричної комутаційної апаратури, що використовує фторовані парникові гази, як ізоляційне середовище, або середовище для переривання струму. Для обладнання до 24 кВ обмеження діють з 2026 р., понад 24 до 52 кВ-з 2030 р.; понад 52 до 145 кВ та до 50 кА-з 2028 р., а понад 145 кВ або понад 50 кА-з 2032 р. [1]. Поширення цих положень на високовольтні газоізольовані вимірювальні трансформатори струму визначається нормативною класифікацією обладнання. В Україні поводження з фторованими парниковими газами регулює Закон України № 376-IX [2].

Ресурсною передумовою дослідження є масштабування виробництва біометану. REPowerEU визначає ціль 35 млрд м³ на рік у ЄС до 2030 р. [3], а українська Програма розвитку біометану-1 млрд м³ у 2030 р. та 2,1 млрд м³ у 2035 р. [4]. Під час очищення біогазу до біометану відокремлюється потік CO_2. Сирий біогаз містить CH_4, CO_2, H_2S, вологу й змінні домішки, тому непридатний для високовольтної газової ізоляції. Досліджується очищений, осушений і контрольований за складом біогенний CO_2, як компонент безфторової суміші $N_2/O_2/CO_2$. Біогенне походження не змінює молекулярних та електрофізичних властивостей CO_2, але забезпечує залучення побічного вуглекислого потоку біометанового виробництва до функціонального використання в газовій ізоляції.

Світова практика формує кілька напрямів заміни SF_6. Siemens Energy у платформі Blue застосовує очищене повітря з вакуумним перериванням струму; серійні рішення реалізовано до 145 кВ, а обладнання 420 кВ проходить розроблення та випробування [5]. Trench Group виготовляє вимірювальні трансформатори струму з ізоляцією Clean Air до 420 кВ [6]. KONCAR застосовує синтетичне повітря N_2/O_2 [7]. ABB AirPlus і Hitachi Energy EconiQ використовують суміші без SF_6, але з фторованими компонентами [8, 9], тоді як GE Vernova у 2026 р. представила вимикач 420 кВ, 63 кА з безфторовою сумішшю CO_2/O_2 [10]. Наведені рішення підтверджують необхідність вибору газового діелектрика з урахуванням складу, робочого тиску, температурного діапазону, електричного поля та конструктивних параметрів апарата.

Метою роботи є науково-технічне обгрунтування заміни SF_6 у газоізольованому вимірювальному трансформаторі струму ТОГ-362 безфторовим середовищем $N_2/O_2/CO_2$ зі збереженням нормованих характеристик. Об’єктом дослідження обрано ТОГ-362 виробництва ТОВ «ЕЛІЗ» з робочим надлишковим тиском SF_6 pg = 0,40 МПа. За протоколом приймально-здавальних випробувань первинна ізоляція витримала 510 кВ, 50 Гц, 60 с; уявний заряд часткових розрядів становив 8 пКл при 400 кВ і 4 пКл при 250 кВ; tgδ = 0,02 %, C = 154,86 пФ, показник герметичності-0,08 %. Механічну міцність корпусу підтверджено гідравлічним випробуванням за тиску 0,8 МПа протягом 10 хв [11]. Промисловим аналогом багатокомпонентної газової ізоляції є ABB TG362/420 із сумішшю 54 мол. % SF_6 і 46 мол. % N_2 за абсолютного тиску 9,5 бар при 20 °C [12].

У віртуальній високовольтній лабораторії SCANDRIS V-LAB розроблено розрахунково-дослідну модель безфторової газової ізоляційної системи BIO-AIR-HV-R2: 58 мол. % N_2, 30 мол. % O_2 і 12 мол. % очищеного CO_2 біогенного походження; молярна маса-31,13 г/моль. Модель поєднує термодинамічний, електрофізичний, тепловий, газодинамічний і механічний контури. Температурно-тисковий стан та фазову стійкість оцінено за рівнянням Пенга-Робінсона; електрофізичний аналіз грунтується на E/N, де E-напруженість електричного поля, В/м, N-концентрація частинок газу, $м^{-3}$. Розподіли електричного поля, температури та механічних напружень визначаються дво- і тривимірним моделюванням.

За базового робочого надлишкового тиску SF_6 pg = 0,40 МПа при 20 °С розрахунковий тиск BIO-AIR-HV-R2 за критерієм подібності E/N становить 1,41 МПа за незмінного E_{max}. За конструктивного зниження E_{max} на 15-30 % розрахунковий діапазон становить 0,96-1,19 МПа. Для модельного режиму pg = 1,00 МПа при 20 °С одержано 0,73 МПа при -50 °С та 1,14 МПа при +55 °С. Моделювання SF_6 показало зміщення температури початку конденсації: від приблизно -37 °С при pg = 0,40 МПа до -26 °С при 0,60 МПа та -10 °С при 1,00 МПа. Залежності свідчать, що підвищення тиску одночасно змінює температурно-фазовий стан газу та механічне навантаження оболонки. Тому заміна SF_6 потребує комплексної оптимізації складу суміші, робочого тиску, електричного поля та конструктивно-механічних параметрів трансформатора.

Розрахунковий діапазон надлишкового тиску BIO-AIR-HV-R2 визначає область параметрів і не може бути прийнятий як установлений робочий режим газової ізоляції ТОГ-362 без експериментального підтвердження. Допустимий робочий тиск має визначатися з урахуванням електричної міцності, розподілу поля, температурно-тискових характеристик, фазової стійкості, теплового режиму та механічної міцності оболонки. Для суміші з 30 мол. % O_2 необхідно визначити окиснювальну здатність за ISO 10156:2017 та підтвердити матеріальну сумісність. Заміна SF_6 на BIO-AIR-HV-R2 змінює внутрішнє газове ізоляційне середовище, тому модифіковане виконання ТОГ-362 потребує типової кваліфікації за IEC 61869-1:2023 та IEC 61869-2:2012. Програма кваліфікації має охоплювати типові, приймально-здавальні та спеціальні випробування з підтвердженням електричної міцності, часткових розрядів, теплової й механічної стійкості, герметичності та метрологічних характеристик. Якість альтернативного газу визначає IEC 63360:2025, поводження з ним-IEC 62271-4:2022, високовольтні випробування-IEC 60060-1:2025, вимірювання часткових розрядів-IEC 60270:2025 [13].

Отже, достовірність результатів забезпечується розмежуванням модельних і експериментально підтверджених даних. Результати SCANDRIS V-LAB розглядаються як розрахункові до верифікації фізичними випробуваннями. Придатність BIO-AIR-HV-R2 для ТОГ-362 встановлюється за сукупністю нормованих електроізоляційних, теплових, механічних і метрологічних характеристик. Порівняльне оцінювання проводиться відносно базового SF_6 та контрольної безфторової суміші N_2/O_2; невідповідність установленим критеріям після оптимізації виключає досліджуваний склад із подальшої типової кваліфікації. Остаточним критерієм є позитивні результати типової кваліфікації повнорозмірного ТОГ-362 з підтвердженням нормованих характеристик трансформатора.

Список літератури:

1. European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/573 on fluorinated greenhouse gases (corrigendum 24 March 2025). Official Journal of the European Union.
2. Верховна Рада України. (2019). Закон України № 376-IX «Про регулювання господарської діяльності з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами».
3. European Commission. (2022). REPowerEU Plan, COM(2022) 230 final.
4. Кабінет Міністрів України. (2026). Постанова № 514 від 22.04.2026 «Про затвердження Програми розвитку виробництва біометану на період до 2035 року та операційного плану заходів з її виконання».
5. Siemens Energy. (2025-2026). Blue high-voltage products; LIFE Blue GIS 420 kV project.
6. Trench Group. (2026). Clean Air Current Transformer, up to 420 kV.
7. KONCAR. (2025). Type testing of ON.1 medium-voltage switchgear with synthetic air.
8. ABB. (2017). AirPlus: An alternative to SF_6 based on dry air and C5 fluoroketone. CIRED 2017.
9. Hitachi Energy. (2026). EconiQ 550 kV gas-insulated switchgear.
10. GE Vernova. (2026). GL316c 420 kV, 63 kA circuit breaker using a CO_2/O_2 gas mixture.
11. ТОВ «ЕЛІЗ». (2025). Протокол приймально-здавальних випробувань трансформатора струму ТОГ-362 від 22.12.2025.
12. ABB S.p.A. PPD U.O. ADDA. (2011). TG362/420 [SF_6-N_2]: Instruction Manual 2GJA708603, Rev. A.
13. Нормативні стандарти. ISO & IEC. (2012-2025). ISO 10156:2017; IEC 63360:2025; IEC 62271-4:2022; IEC 61869-1:2023; IEC 61869-2:2012; IEC 60060-1:2025; IEC 60270:2025.

МАЛЬОВАНИЙ М., СТЕФАНІВСЬКИЙ М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ ДЛЯ КАПСУЛЮВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua

Abstract. An environmentally safe technology for recycling polyethylene terephthalate (PET) waste into polymer-coated controlled-release mineral fertilizers is presented. Modified PET obtained by glycolysis is used as a film-forming material for encapsulation in a fluidized-bed unit. The developed fertilizers reduce nutrient losses, improve soil ecological safety, and simultaneously provide a sustainable route for PET waste utilization.

Мінеральні добрива залишаються одним із найефективніших засобів підвищення врожайності сільськогосподарських культур, однак їх традиційне використання супроводжується значними втратами елементів живлення та забрудненням компонентів довкілля. Значна частина нітрогену, фосфору і калію не засвоюється рослинами, мігрує у поверхневі та підземні води, спричиняє евтрофікацію водойм і погіршення екологічного стану агроекосистем. Одним із перспективних шляхів мінімізації цього негативного впливу є застосування мінеральних добрив пролонгованої дії, капсульованих полімерними оболонками.

Метою дослідження було розроблення екологічно безпечної технології утилізації відходів поліетилентерефталату шляхом використання модифікованого ПЕТ як матеріалу для капсулювання гранульованих мінеральних добрив. Запропонований підхід одночасно вирішує дві екологічні проблеми: повторне використання пластикових відходів і зменшення негативного впливу мінеральних добрив на довкілля.

У роботі використано метод модифікування відходів ПЕТ реакцією алкоголізу з діетиленгліколем, що забезпечує отримання полімерної дисперсії, придатної для нанесення на поверхню гранул добрив. Капсулювання здійснювали в апараті псевдозрідженого (киплячого) шару, який забезпечує рівномірне формування полімерної оболонки необхідної товщини та стабільні умови тепло- і масообміну. Проведені експериментальні дослідження показали, що модифікований ПЕТ характеризується оптимальними дифузійними властивостями для створення добрив пролонгованої дії. Встановлено технологічні параметри процесу капсулювання, визначено швидкість псевдозрідження гранульованих добрив, коефіцієнти тепловіддачі та масовіддачі, а також параметри, необхідні для масштабування технології.

Якість отриманого покриття оцінювали за кінетикою вивільнення компонентів мінерального живлення відповідно до вимог європейського стандарту EN 13266. Отримані кінетичні криві підтвердили рівномірне та прогнозоване вивільнення поживних елементів без різких змін інтенсивності процесу. Це забезпечує тривале живлення рослин протягом вегетаційного періоду та істотно зменшує необхідність повторного внесення добрив.

Лабораторні агроекологічні дослідження засвідчили, що використання капсульованих добрив позитивно впливає на кислотність ґрунту та не спричиняє негативних змін мікробіоти. Поступове надходження елементів живлення підтримує більш стабільні фізико-хімічні умови ґрунтового середовища порівняно зі звичайними водорозчинними добривами.

Практичне значення запропонованої технології полягає у створенні нового виду екологічно безпечних капсульованих мінеральних добрив із використанням вторинної полімерної сировини. Використання модифікованого ПЕТ дозволяє зменшити накопичення пластикових відходів, підвищити ефективність застосування добрив та знизити ризики забруднення ґрунтів і водних об’єктів сполуками нітрогену та фосфору. Запропонований комплекс технологічних рішень відповідає сучасним принципам циркулярної економіки та екологізації аграрного виробництва. Поєднання утилізації полімерних відходів із виробництвом добрив пролонгованої дії створює передумови для підвищення екологічної безпеки агроекосистем, раціонального використання ресурсів і впровадження природоорієнтованих технологій у сільському господарстві України.

СЕМІНАР 4

ОСВІТА ТА ВИХОВАННЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

СЕМЕНЮК О.А.[1], СЕМЕНЮК Л.Л.[2], СЕМЕНЮК А.О.[3] (УКРАЇНА, КИЇВ)

ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГРАМОТНОСТІ УЧНІВ У КОНТЕКСТІ ОСВІТИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

[1]Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
04212, вул. Левка Лук'яненка, 13-Б, м. Київ, Україна; semenyuk_oleg@ukr.net
[2]Київський національний університет технологій та дизайну,
01011, вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ, Україна; semenyuk_larisa@ukr.net
[3]ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України»,
01011, вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, Україна; semeniuk.and.i@gmail.com

Abstract. The theses examine the role of general secondary education institutions in developing students' energy literacy as a component of education for sustainable development. Emphasis is placed on the interdisciplinary nature of addressing issues related to energy, energy efficiency, rational use of natural resources, and environmental protection in contemporary educational practices. Particular attention is given to the importance of specialized terminology as a foundation for developing a cognitive understanding of energy transformations. It is demonstrated that, alongside natural science subjects, the study of fiction plays an important educational role by fostering an understanding of the environmental and social consequences of energy resource use. The necessity of a comprehensive approach to developing energy literacy and fostering young people's responsible attitudes toward sustainable development issues is substantiated.

Процес енергетичних трансформацій пов'язаний із помітними змінами в економічній, технологічній, природоохоронній, соціальній сферах. З одного боку, він стосується глобальних питань існування людства, якісно нового розвитку держав, міст, громад, а з іншого – торкається якості життя кожної окремої людини. З огляду на це, надзвичайно важливим є завдання зробити проблему зрозумілою не лише для фахівців, але й для більшості пересічних мешканців країни, правильно розставити ціннісні й смислові акценти. Важливу роль у цьому процесі відіграє школа, шкільна освіта. Зазвичай ефективне розуміння і сприйняття складних питань забезпечує цілеспрямована, методична робота з дітьми, деякі її аспекти якої ми і розглянемо.

Важливе місце у формуванні прогресивної «енергетичної грамотності» належить школі, і саме навчальні програми виразно ілюструють складність і міждисциплінарність проблеми. Так, в українських закладах середньої освіти у різний час викладалась низка навчальних дисциплін, під час вивчення яких учні мали змогу дізнатися про різноманітні аспекти розвитку енергетики, зв'язок цієї галузі з видобутком викопних ресурсів, збереженням природного середовища, стабільністю економіки тощо. Це: «Я досліджую світ», «Пізнаємо природу», «Природознавство», «Фізика», «Біологія», «Біологія і екологія», «Географія», «Фінансова грамотність» тощо. Вивчаючи ці курси, вони не тільки отримують певні знання, а й формують когнітивно-вербальний ресурс для розуміння й обговорення проблеми. Важливою частиною цієї бази є спеціальна термінологія. Наприклад, при вивченні географічних дисциплін школярі мають засвоїти і зрозуміти такі терміни: *охорона атмосферного повітря*, *природно-ресурсний потенціал*, *антропогенне забруднення, невичерпні природні ресурси, раціональне природокористування*, *охорона довкілля, маловідходні й безвідходні технології, сталий розвиток, моніторинг довкілля*, *електрична станція, паливно-енергетичні ресурси, енергоощадні лампочки, енергозбереження, паливно-енергетичний баланс, енергетична ефективність й енергоємність національної економіки*; *обсяги споживання первинних енергоресурсів; енергогенеруючі потужності, енергетична система України* тощо. Певним чином симптоматично, що за останні роки, услід за світовими тенденціями, змінювалися акценти у назвах відновлюваної енергетики: *нетрадиційні відновлювані джерела енергії – альтернативна енергетика – відновлювана енергетика, ВДЕ.*

Не тільки природничі науки та відповідні шкільні предмети розповсюджують і популяризують знання щодо енергетичних трансформацій. Поширенню ідей отримання нових джерел енергії та убезпечення людства від катастроф, пов'язаних із нанесенням шкоди природному середовищу, серед широких верств населення ще з початку XX століття сприяли художні твори, які отримали неабияку популярність серед читачів. Тому не слід забувати і про можливості української та зарубіжної літератури. Серед творів, які сприятимуть розумінню проблеми, назвемо, наприклад, класичні «Машину часу» Г. Веллса і «Сонячну машину» В. Винниченка. Наприкінці XX та початку XXI століть

кількість творів з «енергетично-екологічною» тематикою, в яких людство потерпає в далекому або недалекому майбутньому від проблем зі станом довкілля, спричинених нераціональним використанням природної сировини та енергетичних ресурсів, значно збільшилася. Назвемо, наприклад: «Нью-Йорк 2140» Кіма Стенлі Робінсона, «Рік потопу» Маргарет Етвуд, «Борн» Джефа Вандермеєра, «Водяний ніж» Паоло Бачигалупи, «Історія бджіл» Майї Лунде, «Сміттєвий прибій» Чень Цюфань, «Тропік Канзаса» Кристофера Брауна, «І гримнув грім» Рея Брейдбері, «Останнє питання» Айзека Азімова тощо. Частина цих творів може вивчатися як в межах курсів літератури (як додатковий матеріал), так і при вивченні тем з екології.

Сучасний навчальний процес включає також і самостійну, і позакласну діяльність. Для формування енергетичної грамотності, екологічної свідомості і ефективного розуміння проблем енергетичних трансформацій можна (і потрібно) використовувати кінематографічні твори. Фахівці (Ратушняк О., Сеньовська Н., Сторожук С. та ін.) наголошують на певних властивостях художнього фільму, які дозволяють використовувати його як ефективний засіб навчання: 1) є синтетичним аудіовізуальним засобом, який додає динаміки навчальному процесу; 2) при використанні певних прийомів створює для учня ефект активного учасника ситуації, стимулює пізнавальну діяльність; 3) дозволяє додати до теми занять експліцитну або імпліцитну соціокультурну інформацію, сприяє розширенню кола додаткових знань; 4) здійснює виховний вплив завдяки високій художньо-естетичній цінності. Серед фільмів, які сприятимуть формуванню енергетичної та екологічної культури і можуть використовуватися як матеріал для обговорення зі школярами глобальних проблем енергетичного переходу та сталого розвитку, можна назвати: «Згадати все» (режисер Пол Верговен), «Шалений Макс», «Шалений Макс 2» (режисер Джордж Міллер»), «Водний світ» (режисер Кевін Рейнольдс), «Післязавтра», «2012» (режисер Ролланд Емеріх), «Геошторм» (режисер Ден Девлін), «Глибоководний горизонт» (режисер Пітер Берг), «Палаюче море» (режисер Йон Андреас Андерсен), «Чорнобиль» (режисер Йоан Рейк) та ін.

Вважаємо, що художня література (твори наукової фантастики, соціальних антиутопій) та кінематограф є ефективними чинниками формування соціальної перестороги щодо можливості людства знищити себе в процесі задоволення своїх потреб та безперервного підкорення природи. Окрім цього, мистецькі твори створюють певні архетипи масової свідомості про проблему, шляхи її подолання, можливість нових видів енергії, тобто – формують відповідний «гіпертекст», який дозволяє школярам (і не тільки) виразно побачити проблему.

Отримані результати свідчать, що формування енергетичної грамотності учнів є важливою складовою освіти для сталого розвитку та необхідною передумовою успішної реалізації сталих енергетичних трансформацій. Аналіз змісту навчальних програм засвідчує, що питання енергетики, енергоефективності, раціонального природокористування й охорони довкілля мають виразний міждисциплінарний характер і представлені в різних освітніх галузях. Важливу роль у цьому процесі відіграє засвоєння спеціальної термінології, яка формує когнітивну основу для усвідомленого сприйняття енергетичних та екологічних викликів. Додатковий потенціал для розвитку ціннісного ставлення до проблем сталого розвитку мають твори художньої літератури, що моделюють можливі наслідки нераціонального використання природних ресурсів. Комплексне поєднання природничої, соціально-економічної та гуманітарної складових освіти сприяє вихованню відповідального громадянина, здатного приймати обґрунтовані рішення у важливих для суспільства сферах.

BERESHKO I., KRUCHYNA V., KLEIEVSKA V. (UKRAINE, KHARKIV)

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE TRAINING OF ENVIRONMENTAL PROFESSIONALS

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»
61070, Vadym Manko St, 17, Kharkiv, Ukraine; i.bereshko@khai.edu

Abstract. The connection between the low level of natural and technical education and the deployment of natural conditions should be established. The importance of natural and technical education for the implementation of favorable development results is confirmed. It is necessary to use modern digital technologies in the process of training qualified specialists, which have been confirmed.

The intensive growth of world production volumes, which is not always consistent with the laws of nature, in the second half of the last century led to a significant deepening of the ecological crisis and gave rise to global environmental problems, which include climate change, air pollution, the formation of a significant amount of waste , deforestation , and the reduction of biodiversity. According to modern researchers, the reason for such an unfavorable environmental situation is the low level of environmental education and culture of society.

One of the effective solutions to existing environmental problems was the development of an integrated approach, which was reflected in the program document of the United Nations International Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro in 1992, “Agenda for the 21st Century” [2]. Later, in 2015, the UN General Assembly resolution approved seventeen “sustainable development goals” [3], which cover the main economic, environmental and social aspects. A key role in achieving the goals of sustainable development is played by the comprehensive development of environmental education. Nowadays, the use of information technologies has become an important component of the educational process, including in the field of environmental education, for example, for predicting environmental changes due to anthropogenic activity.

In the training of professional ecologists in particular, the main tasks of environmental education are [4]:

- forming an understanding of modern environmental problems both in our country and in the world, recognizing their relevance, universality, and importance;
- development of personal responsibility for the state of the environment at the local, regional, national and global levels, the ability to predict the consequences of individual and collective activities on the environment;
- development of the ability to make responsible decisions regarding environmental problems, mastering the principles and rules of environmentally friendly behavior.

Nowadays, in Ukraine, the digital transformation of education has been identified as a priority area of state policy, which is reflected in the conceptual and regulatory documents of the Ministry of Education and Science of our country [5] .

The digital transformation of education is taking place in the following areas: the introduction of distance and blended learning [6]; digitalization of educational content [7]; personalization of learning [8]; formation of digital competence of participants in the educational process [9].

The formation of a responsible attitude towards the environment in environmental education during the period of digital transformation begins with the development of environmental awareness and ecological and digital literacy of education seekers. Modern information technologies are able to provide access to relevant, scientifically based data on the state of the environment, contribute to the visualization of complex environmental processes and phenomena, and also allow to realize the cause-and-effect correlation between anthropogenic activity and environmental changes. Thanks to the use of electronic educational resources, interactive platforms, geographic information systems and digital databases, environmental information acquires an applied character, which certainly increases the level of its comprehension and significance for education seekers [10].

In addition, the use of digital technologies in environmental education contributes to the transition from reproductive acquisition of knowledge to learning focused on the formation of competencies and aimed at achieving environmentally responsible behavior. The involvement of digital tools in the educational process creates conditions for the development of critical thinking, analytical skills and skills for making informed decisions in the field of environmental protection. The practice-oriented use of digital technologies, in particular, modeling environmental situations, analyzing actual environmental data and engaging in digital research projects, contributes to the formation of personal responsibility for the state of the environment among

students and the awareness of the importance of the human role in achieving sustainable development of society [11].

The formation of a responsible attitude towards the environment in the conditions of digital transformation of education requires a reorientation from a purely theoretical teaching of environmental laws to their visual and interactive understanding. One of the most effective means of this transition is digital modeling of environmental processes, which allows combining abstract scientific provisions with visualized results of their implementation in conditions of variable environmental parameters. In the process of digital modeling, the student gets the opportunity to experimentally investigate the influence of individual factors and their combinations, which contributes to the formation of analytical and systemic thinking in him. Digital modeling is also a tool for "active learning". Unlike passive perception of information, working with a digital model involves formulating a hypothesis, selecting parameters, analyzing the results obtained and formulating conclusions. Such activity forms research competencies, develops critical thinking and the ability to make informed decisions in the field of environmental protection. The student of higher education becomes not only a consumer of information, but an active researcher of environmental processes.

In addition, digital models create the prerequisites for interdisciplinary integration. They combine ecology, mathematics, computer science, physics of atmospheric processes and elements of spatial analysis. Such a synthesis contributes to the formation of a comprehensive vision of environmental problems and meets modern requirements for the training of specialists in the field of sustainable development.

So, the main advantages of digitalizing environmental education are:

- expanding access to educational resources, regardless of the geographic location of the education seeker;
- the opportunity to study at a time convenient for the applicant and at a pace convenient for him, which contributes to the personalization of learning;
- formation of practical skills and deepening awareness of environmental problems;
- ensuring a comprehensive approach to training specialists, as well as the formation of ecological thinking;
- rapid adaptation of educational programs to modern needs of environmental monitoring, scientific research and practical tasks in the field of environmental protection.

References

[1] Ekologichni globalni problemy. Entsyklopedia suchasnoi Ukrainy. URL: https://esu.com.ua/article-18692 (accessed 9.07 .26) (in Ukrainian)
[2] Poriadok dennyi na XXI stolittia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Agenda_for_the_21st_Century (accessed 9.07.26) (in Ukrainian)
[3] Sustainable Development Goals. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Development_Goals (accessed 9.07.26) (in Ukrainian)
[4] Shumilova, O. V. Formuvannia ekologichnoi svidomosti shkoliariv ekologo osvitnimy zakhodamy NPP SLOBOZHANSKYI. Bulletin Kharkivsky Nationalny Universitet im. V. N. Karazina, sectsiia "Ekologiia", 2015. – Vyp. 13. – S. 104 – 111 (in Ukrainian).
[5] Ostrovy, O. (2022). Formuvannia derzhavnoi polityky tsifrovogo rozvytku : current trends and prospects. // Tavriiskyi Naukovyi Bulletin. Seriia: Publichne upravlinnia ta administruvannya, (3), 85 – 91. URL: https://doi.org/10.32851/tnv-pub.2021.3.12 (accessed 9.07.26) (in Ukrainian)
[6] Tsyfrova osvita. URL: https://mon.gov.ua/tag/tsifrova-osvita?&tag=tsifrova-osvita. (accessed 09.07.26) (in Ukrainian)
[7] Tsifrova transformatsiia osvity: teoretychni and metodychni zasady: monografiia / za zag. redaktsiieiu V. P. Sergienko; za nauk. redaktsiieiu N. P. Franchuk – Kyiv: Vydavnytstvo Mykhailo Dragomanov UDU, 2024. – 382 s. (in Ukrainian)
[8] Lokaryeva G. V., Bazhmina O. O. Personalizatsiia v osviti: upravlinnia studentamy vlasnoiu traektoriieiu navchannia zasobamy tsifrovykh tekhnologiyi. Informatsiini tekhnologii ta zasoby navchannia. 2021. Vyp. 86, No. 6. S187-207. URL: https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/4103/1954 . (accessed 09.07.26) (in Ukrainian)
[9] Kabinet Ministriv Ukrainy vyznachyv priorytetni napriamy ta predstavyv proiekt diyi Uriadu: Kliuchovi kroky v osviti ta nautsi in Education and Science URL: https://mon.gov.ua/news/kabinet-ministriv-ukrainy-vyznachyv-priorytetni-napriamy-ta-predstavyv-proiekt-prohramy-dii-uriadu-kliuchovi-kroky-v-osviti-ta-nautsi. (accessed 09.07.26) (in Ukrainian)
[10] Kovalchuk, V. (2025). Tsifrovi technologii u formuvanni ecolohichnoi kultury uchniv vidpovidno do tsilei stalogo rozvytky. Ukrainska Professiina Osvita, (18), 128 – 136. URL: https://doi.org/10.33989/2519-8254.2025.18.347735 (accessed 10.07.26) (in Ukrainian)
[11] Lowen-Trudeau, G. (2023). Digital technologies and environmental education. Journal of Environmental Education, 54 (1), 1 – 7. URL: https://doi.org/10.1080/00958964.2022.2152413 (accessed 10. 07.26).

Семінар 4 **Seminar 4**

МАСІКЕВИЧ А.Ю. (УКРАЇНА, ЧЕРНІВЦІ)

РОЛЬ ДИСЦИПЛІН МЕДИЧНОГО СПРЯМУВАННЯ В КОНТЕКСТІ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Буковинський державний медичний університет
58002, площа Театральна, 2, Чернівці, Україна; masikevych.a@bsmu.edu.ua

Abstract. The study of safety-related disciplines by medical students is examined. "Labor protection in the field" and "Life Safety" hold a significant place among these subjects. The imposition of martial law and catastrophic environmental pollution lend particular importance to the study of these disciplines by medical students. At the same time, due emphasis is placed on introducing new specializations related to emergency medicine (such as paramedics, rehabilitation, etc.).

Відповідно до раніше прийнятих освітніх стандартів вивчення студентами різних спеціальностей вищих навчальних закладів безпекових дисциплін входило в якості обов'язкового компоненту їх нормативної частини. В цьому плані особливого значення мав спільний наказ МОН України, МНС та Держгірпромнагляду від 21.10.2010 за №969/922/216 «Про організацію та вдосконалення навчання з питань охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту у вищих навчальних закладах України». Наказ передбачав обов'язкове вивчення нормативних навчальних дисциплін «Охорона праці в галузі», «Безпека життєдіяльності» студентами всіх спеціальностей. Проте, незважаючи на актуальність питань безпеки життєдіяльності та погіршення умов праці, в 2014 році даний наказ втратив чинність і носить сьогодні скоріш методологічний характер як нормативно-правова передумова розвитку безпекової освіти. Заклади вищої освіти самостійно вправі визначати конкретні форми вивчення безпекових дисциплін: окрема дисципліна, модуль чи змістовий модуль. Наказом МОН України за № 1514 від 22.11.2017 року передбачено, що навчання здобувачів вищої освіти відбувається відповідно до існуючого законодавства на основі стандартів освіти. Даним наказом затверджено «Положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності в закладах, установах, організаціях, підприємствах, що належать до сфери управління Міністерства освіти і науки України». І не зважаючи на те, що навчання студентів вишів з питань безпекових дисциплін проводиться відповідно вимог чинного законодавства у сфері охорони праці, цивільного захисту та освіти, знайомство із змістом компетентностей свідчить про досить наближений їх зміст до існуючих реалій. А реалі – це застарілі технології виробництв із забрудненням довкілля та робочого місця зокрема, це існуючі колізії в нормативно-правових актах стосовно екологічно-залежних захворювань, це розбіжності вітчизняних нормативів із стандартами країн Євросоюзу тощо. Відомо, що тривалий вплив забруднювачів може спричиняти хронічні захворювання органів дихання, серцево-судинної системи, репродуктивної системи тощо. Девастоване довкілля (надмірний шум, електромагнітні випромінювання тощо) викликають не тільки соматичні розлади, вони служать також причиною психічних захворювань (хронічному стресу, тривожності, емоційному виснаженню та вигоранню). В останні роки відносний відсоток екологічно-зумовлених захворювань невпинно зростає.

Оскільки дотримання вимог охорони та безпеки праці є безпосередньою передумовою збереження здоров'я працівника, то працівникам медичної сфери вочевидь фундаментальні знання з безпекових дисциплін є необхідною складовою їх професійної підготовки. Окрім того, слід враховувати той факт, що індивідуальне та популяційне здоров'я людей, в кінцевому підсумку, як складова, визначає «здоров'я довкілля» в цілому. Вивчення особливостей взаємодії соціуму із навколишнім середовищем, на даному етапі розвитку цивілізації, свідчить про загострення даних відносин та появу кризових ситуацій, що виступають обмежуючим фактором тривалості віку та появою раніше не відомих невиліковних захворювань. Отож, відсутність належних знань, в здобувачів медичної освіти, про особливості зміни навколишнього середовища, його забруднення та деградацію, не дає можливості належної діагностики стану індивіду зокрема. Слід зазначити, що ідентифікація екологічно-залежних захворювань пов'язана з цілим рядом труднощів, що потребують додаткового вивчення та часу. Перш за все, це складність доказу причинно-наслідкового зв'язку, множинність факторів ризику, тривалий латентний період, поєднаний та кумулятивний вплив, тощо.

Недостатня обізнаність зовнішніх причин, що порушують нормальне функціонування організму людини, виступає лімітуючим фактором здоров'я та тривалості довголіття. Існуюча система медичної освіти в значній мірі ігнорує дану сторону безпеки життєдіяльності (переведення у вибіркову частину, скорочення кількості кредитів тощо). Збереження життя цивільного населення та комбатантів повинні стати вирішальною компонентою безпекових дисциплін для здобувачів освіти медичного спрямування.

Семінар 4 **Seminar 4**

ВІЦЮК А.А. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ МОВНОКОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ ЗАСОБАМИ ТЕКСТІВ МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ТЕМАТИКИ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

ПВНЗ «Київський медичний університет»
02099, вул. Бориспільська, 2, Київ, Україна; info@kmu.edu.ua

Abstract. This paper examines the potential of texts focused on medical and environmental themes to foster the professional linguistic and communicative competence of medical university students within the context of education for sustainable development. It substantiates the value of using both authentic and pedagogically adapted texts addressing the impact of environmental conditions on human health, the prevention of environmentally induced diseases, occupational and personal safety, and responsible attitudes toward natural resources. The study outlines key learning activities associated with such texts: terminological analysis, work with specialized vocabulary, identification of core information, argumentation, annotation, summarizing, and the preparation of oral professional statements. The paper concludes that integrating linguistic, medical, and environmental components into the professional training of future physicians is highly beneficial.

Сучасна підготовка майбутнього лікаря передбачає не лише засвоєння фундаментальних і клінічних знань, а й формування здатності ефективно здійснювати професійну комунікацію. Лікар має вміти чітко й логічно висловлювати думки, сприймати та аналізувати фахову інформацію, працювати з науковими й медичними текстами, аргументувати професійні позиції та доступно пояснювати пацієнтові складну інформацію. Відтак важливою складовою професійної підготовки студентів медичних спеціальностей є розвиток мовнокомунікативної компетентності.

Актуальність цього завдання посилюється необхідністю реалізації принципів сталого розвитку в системі сучасної освіти. Концепція сталого розвитку передбачає взаємопов'язане врахування соціальних, економічних та екологічних чинників. Для медичної освіти особливого значення набуває усвідомлення взаємозв'язку між станом довкілля та здоров'ям населення. Забруднення повітря і води, зміна клімату, вплив небезпечних речовин, проблеми поводження з відходами та інші екологічні чинники безпосередньо або опосередковано пов'язані з ризиками для здоров'я людини (World Health Organization [WHO], 2023).

У цьому контексті тексти медико-екологічної тематики можуть бути ефективним дидактичним ресурсом під час викладання української мови за професійним спрямуванням. Їх використання дає змогу одночасно розвивати мовні навички студентів і поглиблювати професійне розуміння проблем, із якими майбутній лікар може зіткнутися у практичній діяльності.

Під професійною мовнокомунікативною компетентністю студентів-медиків доцільно розуміти комплекс знань, умінь і навичок, що забезпечують нормативне, точне, логічне, доречне та ефективне використання української мови у професійній діяльності. Вона охоплює володіння медичною термінологією, уміння сприймати й продукувати фахові тексти, аргументовано висловлюватися, вести професійний діалог і добирати мовні засоби відповідно до комунікативної ситуації.

Медико-екологічні тексти є особливо цінними з погляду формування такої компетентності, оскільки поєднують професійний зміст із суспільно значущою проблематикою. Наприклад, під час опрацювання тексту про вплив забруднення атмосферного повітря на органи дихання студенти можуть не лише засвоювати відповідну термінологію, а й удосконалювати навички визначення головної та другорядної інформації, встановлення причинно-наслідкових зв'язків, формулювання висновків та аргументованого висловлення власної позиції.

Ефективність роботи з такими текстами значною мірою залежить від системи навчальних завдань. На першому етапі доцільно проводити термінологічну роботу: визначати значення нових слів і словосполучень, добирати синонімічні відповідники, встановлювати словотвірні моделі медичних та екологічних термінів. Особливу увагу варто приділяти правильному вживанню термінів у професійному контексті.

На другому етапі доцільними є завдання на аналіз змісту тексту: визначення його теми й основної думки, складання плану, встановлення логічних зв'язків між частинами, пошук аргументів і доказів. Такі вправи сприяють розвитку навичок роботи з професійною інформацією, необхідних майбутньому лікареві.

Семінар 4 **Seminar 4**

Важливим напрямом є також формування продуктивних мовленнєвих умінь. Студентам можна запропонувати підготувати коротке повідомлення, анотацію або реферативний виклад тексту, провести дискусію щодо певної медико-екологічної проблеми чи змоделювати професійну комунікативну ситуацію. Наприклад, можливими є рольові завдання «Лікар — пацієнт», «Лікар — батьки дитини», «Лікар — представник громади», у яких необхідно доступно пояснити вплив певного екологічного чинника на здоров'я та запропонувати профілактичні заходи.

Окремої уваги потребує робота з науково-популярними та медійними текстами. Їх аналіз дає змогу формувати критичне ставлення до інформації про здоров'я та довкілля, розрізняти наукові факти, припущення й оцінні судження, перевіряти достовірність повідомлень та коректно використовувати інформаційні джерела. Це відповідає сучасному розумінню медичної освіти, у якій інформаційна та комунікативна компетентності є важливими складовими професійної підготовки.

Важливою умовою ефективного використання медико-екологічних текстів є добір матеріалу відповідно до рівня мовної підготовки студентів та їхніх професійних потреб. Доцільно використовувати тексти, що стосуються не лише глобальних екологічних проблем, а й конкретних аспектів медичної практики: профілактики захворювань, пов'язаних із забрудненням довкілля, впливу якості питної води та повітря на організм людини, екологічних ризиків для окремих груп населення. Це сприяє актуалізації професійних знань і підвищує мотивацію студентів до мовленнєвої діяльності.

Перспективним є застосування міждисциплінарного підходу, за якого мовний матеріал інтегрується зі знаннями з гігієни, громадського здоров'я, екології, епідеміології та клінічних дисциплін. Наприклад, після опрацювання фахового тексту студенти можуть визначити ключові екологічні фактори ризику, описати їхній можливий вплив на організм, сформулювати профілактичні рекомендації та представити результати у формі усної доповіді. Така діяльність одночасно розвиває термінологічну грамотність, навички професійного мовлення, уміння систематизувати інформацію та здатність адаптувати фахове повідомлення до потреб конкретного адресата.

Отже, медико-екологічна проблематика може розглядатися не лише як тематичний матеріал для занять з української мови, а як засіб формування цілісної професійної компетентності майбутнього лікаря. Її систематичне використання сприяє поєднанню мовної підготовки з розвитком клінічного та критичного мислення, навичок профілактичної комунікації й усвідомлення відповідальності медичного працівника за збереження здоров'я людини та суспільства.

Доцільним є використання проєктних і дослідницьких завдань, спрямованих на самостійний пошук та опрацювання медико-екологічної інформації. Студенти можуть аналізувати статистичні дані, наукові публікації, інформаційні матеріали закладів охорони здоров'я та міжнародних організацій, після чого презентувати результати українською мовою. Під час такої роботи формується вміння відбирати релевантну інформацію, стисло й послідовно її викладати, правильно цитувати джерела та аргументувати власні висновки. Водночас це сприяє розвитку академічної доброчесності та відповідального ставлення до використання професійної інформації.

Таким чином, використання текстів медико-екологічної тематики на заняттях з української мови за професійним спрямуванням створює можливості для інтеграції мовної, професійної та екологічної складових підготовки майбутніх лікарів. Такий підхід сприяє розвитку професійного мовлення, розширенню термінологічного словника, формуванню навичок аналізу фахової інформації та аргументованої комунікації. Водночас він допомагає усвідомити взаємозв'язок між довкіллям, здоров'ям людини та суспільною відповідальністю, що відповідає принципам освіти для сталого розвитку.

Список літератури:

1. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda
2. World Health Organization. (2023). Climate change. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health
3. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228
4. World Health Organization. (2019). Health, environment and climate change: WHO global strategy on health, environment and climate change. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789241506387

Семінар 4 Seminar 4

ШНІЦЕР М.М., ШНІЦЕР І.О. (УКРАЇНА, УЖГОРОД)

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ МОЛОДІ ЗАСОБАМИ ГРОМАДЯНСЬКОЇ ОСВІТИ

Ужгородський національний університет
88000, пл. Народна, 3, Ужгород, Україна; official@uzhnu.edu.ua

Abstract. The paper provides an overview of the potential of civic education for fostering young people's environmental responsibility as a component of responsible citizenship. The interrelationship between environmental knowledge, values, awareness of responsibility, civic participation, practical engagement, and reflection is substantiated. The pedagogical potential of project-based, research-based, and volunteer learning, youth self-government, and other forms of active participation is identified. Particular attention is paid to the local level and to engaging young people in addressing environmental challenges within territorial communities. The educational project "Green Community Space: Exploring, Planning, and Transforming" is proposed as an example of integrating environmental education with practical civic participation. The importance of an interdisciplinary approach and partnership among educational institutions, local communities, and civil society organizations in fostering environmentally responsible and socially active young people is emphasized.

Екологічна відповідальність молоді є невіддільною складовою сучасного відповідального громадянства, оскільки охоплює не лише знання про стан довкілля та способи його збереження, а й розуміння суспільних наслідків власної поведінки, готовність до активної участі та здатність діяти в інтересах спільного блага. У такому розумінні вона виходить за межі індивідуальної природоохоронної поведінки й набуває громадянського виміру, що виявляється у залученні молоді до розв'язання екологічних питань, взаємодії з іншими членами громади та формуванні сталих практик її розвитку.

Важливу роль у формуванні екологічної відповідальності може відігравати громадянська освіта, оскільки саме вона створює можливості для набуття досвіду участі, співпраці, прийняття рішень і відповідальності за їхні наслідки. Поєднання екологічного та громадянського змісту дає змогу розглядати екологічні проблеми не лише як предмет засвоєння відповідних знань, а як суспільні питання, що потребують спільного пошуку рішень та участі різних зацікавлених сторін. Такий підхід відповідає сучасним орієнтирам освіти для сталого розвитку, у межах яких молодь розглядається як активний учасник суспільних змін.

Формування екологічної відповідальності доцільно вибудовувати за логікою «знання – цінності – усвідомлення відповідальності – участь – дія – рефлексія». На першому етапі молода людина отримує знання про екологічну проблему, її причини, наслідки та можливі способи розв'язання. Наступним є ціннісне осмислення проблеми, що передбачає усвідомлення значення довкілля, спільного блага та відповідальності перед майбутніми поколіннями. Важливим є розуміння того, що відповідальність за стан довкілля має не лише індивідуальний, а й колективний характер та передбачає взаємодію громадян, органів влади, бізнесу, закладів освіти й інститутів громадянського суспільства.

Наступним кроком стає готовність молоді до участі та практичної діяльності. Саме тут громадянська освіта отримує можливість безпосередньо пов'язати навчання з реальними суспільними процесами. Молодь може долучатися до проєктів, спрямованих на енергоефективність і ресурсозаощадження, досліджувати локальні екологічні проблеми, брати участь у волонтерських та природоохоронних ініціативах, діяльності органів учнівського і студентського самоврядування, молодіжних рад, громадських організацій та партнерських проєктах із територіальними громадами. Відзначимо, що у таких формах діяльності молодь має виступати не лише виконавцем визначених завдань, а повноцінним суб'єктом, брати участь у визначенні проблеми, аналізі інформації, пошуку та виборі рішень, їх реалізації й оцінюванні результатів.

Для формування екологічної відповідальності цінним є локальний контекст, оскільки саме на рівні територіальної громади молодь може безпосередньо спостерігати екологічні проблеми, взаємодіяти з різними учасниками суспільного життя та долучатися до пошуку практичних рішень. Такими проблемами можуть бути стан громадських і рекреаційних просторів, збереження зелених зон, озеленення територій, поводження з відходами, ощадливе використання водних та енергетичних ресурсів, збереження місцевих природних об'єктів. Водночас участь молоді не має обмежуватися виконанням окремих природоохоронних акцій. Важливо створювати умови для її залучення до

визначення проблеми, вивчення потреб громади, обговорення можливих рішень, взаємодії з органами місцевого самоврядування та оцінювання результатів.

Прикладом такої діяльності може бути освітній проєкт «Зелений простір громади: досліджуємо, плануємо, змінюємо». Його метою є залучення молоді до дослідження стану обраного громадського або природного простору та розроблення пропозицій щодо його екологічного облаштування чи збереження. Учасники можуть визначити проблему, зібрати інформацію про стан території та потреби її користувачів, провести опитування мешканців, проаналізувати можливі варіанти змін і підготувати власну пропозицію. Завершальним етапом може стати її представлення громаді або відповідним представникам місцевого самоврядування, обговорення можливостей реалізації та оцінювання власного внеску. За такого підходу молодь отримує досвід не лише природоохоронної діяльності, а й громадянської участі, тобто від виявлення суспільно значущої проблеми до формулювання пропозицій та взаємодії з іншими учасниками її розв'язання.

Ще одним елементом формування екологічної відповідальності є рефлексія, яка забезпечує осмислення молоддю набутого досвіду участі та результатів власної діяльності. Аналіз досягнутих результатів, особистого внеску, труднощів і причин їх виникнення, а також визначення можливих наступних кроків сприяють перетворенню практичного досвіду на усвідомлений досвід навчання та громадянської участі. Тому формування екологічної відповідальності доцільно розглядати не як лінійний перехід від знань до дії, а як циклічний процес, у якому практична діяльність і її осмислення взаємно доповнюють одне одного. Рефлексія дає змогу переосмислювати набуті знання, уточнювати ціннісні орієнтації, усвідомлювати власну відповідальність за результати діяльності та визначати подальші способи участі у розв'язанні екологічних проблем.

Наголосимо, що реалізація такого підходу потребує міждисциплінарності, оскільки екологічні проблеми мають природничий, економічний, соціальний, правовий та громадянський виміри. Відповідно, формування екологічної відповідальності може здійснюватися не лише в межах окремих освітніх компонентів, а й через інтегровані проєкти та партнерську взаємодію закладів освіти, територіальних громад, органів місцевого самоврядування, громадських організацій та інших суспільних інституцій. Така взаємодія створює умови для набуття молоддю реального досвіду участі у розв'язанні питань, що мають значення для громади.

Отже, громадянська освіта має потенціал стати важливим механізмом переходу від екологічної обізнаності до практичної відповідальності молоді. Її інтеграція з екологічною освітою дає змогу поєднати знання та цінності з досвідом участі, спільної діяльності й прийняття рішень. Саме такий підхід сприяє формуванню молодої людини як активного громадянина, здатного усвідомлювати взаємозв'язок між власними діями, станом довкілля та добробутом громади й долучатися до формування локальних практик сталого розвитку. Формування екологічно відповідальної молоді засобами громадянської освіти може розглядатися як важливий напрям розвитку активного громадянства та залучення молоді до реалізації принципів сталого розвитку.

Список літератури:

1. Верховна Рада України. (2017). *Про освіту: Закон України від 5 вересня 2017 року № 2145-VIII*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19
2. Кабінет Міністрів України. (2018). *Про схвалення Концепції розвитку громадянської освіти в Україні: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 жовтня 2018 р. № 710-р*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/710-2018-р
3. Кабінет Міністрів України. (2020). *Про деякі питання державних стандартів повної загальної середньої освіти: Постанова Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2020 р. № 898*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/898-2020-п
4. Кабінет Міністрів України. (2025). *Про затвердження Державного стандарту початкової освіти: Постанова Кабінету Міністрів України від 26 грудня 2025 р. № 1810*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1810-2025-п
5. UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444
6. UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802
7. UNESCO. (2021). *Resolutions of the 41st session of the General Conference: 16. Launch of UNESCO's Education for Sustainable Development for 2030 framework*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380399

ВАСЮТИНСЬКА К.А., ЗАБАРНА Е.М., МЕЛЬНИК С.В., ЛИЗОГУБ А.О.,
ЧЕРЕДНИЧЕНКО В.А. (УКРАЇНА, ОДЕСА)

МОДЕЛЬ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМИ «ЗЕЛЕНОГО» УНІВЕРСИТЕТУ: КЕЙС ОДЕСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ

Національний університет «Одеська політехніка»
65044, просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна; https://op.edu.ua/

Abstract. The paper substantiates a resilience model for the green university ecosystem based on the case of Odesa Polytechnic National University. The university is considered as a multilevel socio-ecological system integrating institutional, resource-operational, digital-analytical, social-educational and partnership-innovation contours. The model links these contours with three crisis resilience mechanisms: energy decentralization, digital continuity and socio-psychological support. This approach interprets the green university as an adaptive system capable of self-regulation, recovery and progressive development.

Концепція «зеленого» університету в сучасних умовах виходить за межі традиційного розуміння екологізації кампусу, енергозбереження чи впровадження окремих природоохоронних заходів. Для українських закладів вищої освіти вона набуває додаткового змісту, оскільки формується в умовах воєнних загроз, нестабільності енергопостачання, ризиків для інфраструктури, переміщення учасників освітнього процесу та потреби у повоєнному відновленні. У таких умовах «зелений» університет доцільно розглядати не тільки як інструмент екологічного управління, а як модель інституційної стійкості.

Метою роботи є обґрунтування моделі стійкості екосистеми «зеленого» університету на прикладі Національного університету «Одеська політехніка». Методологічною основою є екосистемний підхід, за яким університет розглядається як багаторівнева соціально-екологічна система з потоками ресурсів, інформації, рішень і зворотних зв'язків. Наукова новизна полягає у представленні «зеленого» університету як керованої екосистеми стійкості, де п'ять функціональних контурів забезпечують реалізацію трьох механізмів кризової адаптації: енергетичної автономності, цифрової безперервності та соціально-психологічної підтримки.

У концептуальному вигляді екосистема «зеленого» університету включає сім взаємопов'язаних підсистем: освітню, наукову, управлінську, інфраструктурно-ресурсну, цифрово-аналітичну, соціальну та партнерсько-громадську. Освітня підсистема формує екологічні компетентності, культуру сталого розвитку та системне мислення. Наукова підсистема забезпечує вироблення нових знань, технологічних і управлінських рішень. Управлінська підсистема переводить політики сталого розвитку в процедури, відповідальність, індикатори й механізми контролю. Інфраструктурно-ресурсна підсистема охоплює енергію, воду, відходи, транспорт, будівлі, озеленення й безпеку кампусу. Цифрове-аналітична підсистема забезпечує моніторинг, збір даних, клімат-сервіси та підтримку рішень. Соціальна підсистема пов'язана з інклюзивністю, психологічною підтримкою, участю студентства та добробутом університетської спільноти. Партнерсько-громадська підсистема забезпечує взаємодію з містом, бізнесом, органами влади, міжнародними проєктами та громадськими організаціями.

Стійкість такої екосистеми визначається не кількістю окремих заходів, а якістю зв'язків між підсистемами. Тому ключовим поняттям є архітектура зв'язків, тобто система горизонтальних і вертикальних взаємодій, через які відбувається передача даних, ресурсів, управлінських рішень, освітніх практик, наукових результатів і соціальних ініціатив. Якщо такі зв'язки є фрагментарними, «зелені» ініціативи залишаються короткотривалими проєктами. Якщо вони інституціоналізовані, університет переходить до режиму сталої саморегуляції.

Запропоновану модель стійкості екосистеми «зеленого» університету можна подати як взаємодію п'яти контурів:

1) інституційний контур – політики, стратегія, відповідальні структури, звітність;
2) ресурсно-операційний контур – енергоефективність, водокористування, відходи, мобільність, безпека кампусу;
3) цифрове-аналітичний контур – моніторинг, кліматичні дані, цифрові сервіси, візуалізація показників;
4) соціально-освітній контур – освітні програми, зелені компетентності, студентські ініціативи, інклюзивність і ментальна стійкість;

5) партнерсько-інноваційний контур – наукові проєкти, міжнародна співпраця, взаємодія з громадою, бізнесом і владою.

Умовно стійкість екосистеми можна описати залежністю:

$$R_{GU} = f(I, O, D, S, P, A),$$

де R_{GU} – стійкість екосистеми «зеленого» університету; I – рівень інституціоналізації політик сталого розвитку; O – операційна ефективність кампусу; D – якість цифрового моніторингу й аналітичної підтримки; S – соціальна залученість і стійкість університетської спільноти; P – розвиненість партнерства; A – адаптивність до зовнішніх кризових впливів.

В умовах екстремальних криз і війни найбільш критичними стають три групи механізмів. Перша група – енергетична децентралізація та мікрогенерація. Руйнування централізованої енергетичної інфраструктури робить університет залежним від зовнішніх ризиків, тому розвиток сонячної генерації, систем акумулювання енергії, теплових насосів і локальних енергетичних рішень є не лише екологічним, а й безпековим чинником. Університетський кампус у такій моделі може виконувати функцію енергетичного осередку стійкості, здатного підтримувати роботу лабораторій, серверів, укриття та критичних освітніх сервісів.

Друга група – цифрова стійкість і віртуалізація. Гібридні формати навчання, цифрові освітні середовища, віртуальна академічна мобільність і дистанційна міжнародна співпраця забезпечують безперервність освітнього процесу за умов фізичної небезпеки. Водночас вони зменшують транспортний вуглецевий слід і формують нову модель екологічно доцільної інтернаціоналізації.

Третя група – соціально-психологічна стійкість. В умовах війни соціальна складова сталого розвитку стає не другорядною, а базовою. Інклюзивність, підтримка внутрішньо переміщених осіб, ветеранів, студентів і працівників, розвиток безбар'єрного середовища та психологічного супроводу є необхідними умовами життєздатності університетської екосистеми.

Запропоновані п'ять контурів не існують відокремлено, а формують функціональну основу трьох груп механізмів стійкості. Інституційний контур задає правила, відповідальність і пріоритети розвитку; ресурсно-операційний забезпечує матеріальну базу життєдіяльності кампусу; цифрово-аналітичний створює інформаційну основу для моніторингу й ухвалення рішень; соціально-освітній формує людський капітал, культуру сталості та здатність спільноти діяти в умовах невизначеності; партнерсько-інноваційний розширює можливості університету через взаємодію з громадою, бізнесом, органами влади та міжнародними структурами. У сукупності ці контури забезпечують перехід від декларативної моделі «зеленого» університету до керованої екосистеми, здатної підтримувати функціонування, адаптуватися до зовнішніх впливів і накопичувати потенціал розвитку.

У межах загальної моделі енергетична децентралізація спирається насамперед на ресурсно-операційний, інституційний і партнерсько-інноваційний контури, оскільки потребує технічної модернізації кампусу, управлінських рішень, інвестицій і зовнішніх партнерств. Цифрова стійкість та віртуалізація реалізуються через цифрово-аналітичний, соціально-освітній та інституційний контури, забезпечуючи безперервність освіти, моніторинг показників і збереження академічної мобільності за умов фізичних обмежень. Соціально-психологічна стійкість формується через соціально-освітній, управлінський і партнерський виміри, оскільки пов'язана з інклюзивністю, підтримкою студентів і працівників, участю спільноти та взаємодією з соціальними інституціями. Отже, три групи механізмів стійкості є не додатковими елементами, а практичними проявами роботи п'яти контурів, через які екосистема «зеленого» університету зберігає цілісність, відновлюється після криз і переходить до прогресивного розвитку.

Кейс Одеської політехніки демонструє можливість переходу від політик сталого розвитку до моделі «зеленого» університету як функціональної екосистеми. Її основою є поєднання освітньої, наукової, управлінської, інфраструктурної та соціальної складових, а також інтеграція університету в ширший міський, регіональний і міжнародний контекст.

Отже, модель стійкості екосистеми «зеленого» університету повинна ґрунтуватися на поєднанні екологічної ефективності, інституційної керованості, енергетичної автономності, цифрової безперервності, соціальної підтримки та партнерської відкритості. Саме така модель дозволяє розглядати університет не лише як освітню установу, а як осередок сталого розвитку, кризової адаптації та повоєнної модернізації.

Список літератури:

1. Національний університет «Одеська політехніка». (2025). *Модель «Зеленого» університету Національного університету «Одеська політехніка»*.
https://op.edu.ua/sites/default/files/publicFiles/doc/proj/v.3_koncepciya_zelenogo_universytetu.pdf

Семінар 4 **Seminar 4**

ТЕРПЕЛИВЕЦЬ С., ЧЕРЕПАНИН Р. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ІНТЕГРАЦІЯ ГРОМАДЯНСЬКОЇ НАУКИ В ЕКОЛОГО-ОСВІТНЮ ДІЯЛЬНІСТЬ ПРИРОДООХОРОННИХ ІНСТИТУЦІЙ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вулиця Шевченка, 57, місто Івано-Франківськ, Україна, 76018; e-mail: stanislav.terpelyvets.25@cnu.edu.ua

Abstract. The international experience demonstrates the potential of digital citizen science platforms, particularly iNaturalist, for environmental education and public engagement in protected areas. Applications range from simple visitor participation to structured educational and research activities, including BioBlitz events. Effective integration of citizen science requires clear educational objectives, expert coordination, reliable data collection, and clear communication with participants about how their observations support biodiversity research and conservation.

Міжнародна практика свідчить, що цифрові платформи громадянської науки можуть використовуватися природоохоронними установами в екопросвітницькій роботі з різною глибиною залучення аудиторії. Спектр таких підходів охоплює як використання iNaturalist переважно як додаткового цифрового інструменту для відвідувачів, так і комплексні освітні програми, у яких участь у зборі наукових даних поєднується з конкретними навчальними завданнями.

Найменш ресурсомістким є підхід, за якого платформа використовується передусім для підтримки комунікації з відвідувачами. Установа створює власний проєкт на iNaturalist, розміщує інформацію про нього на території через QR-коди та пропонує відвідувачам долучатися до фіксації спостережень. Такий формат легко реалізувати й він практично не потребує додаткового персоналу чи фінансування. Водночас освітній компонент залишається обмеженим: участь часто зводиться до окремих епізодичних спостережень, які не обов'язково сприяють поглибленню знань або формуванню тривалого інтересу до вивчення природи. Більш змістовним є формат, у якому цифрові спостереження стають частиною заздалегідь розробленого освітнього маршруту. Учасникам пропонуються конкретні завдання, пов'язані з певними компонентами екосистем або таксономічними групами, наприклад пошук видів, характерних для конкретного типу місцезростань, чи порівняння кількох груп організмів. Найбільш глибокий формат передбачає безпосереднє включення учасників у науково-дослідницький процес. Такий підхід особливо придатний для роботи зі студентами та школярами старших класів. Учасники разом із фахівцями визначають напрям дослідження, обирають об'єкти спостережень, працюють із накопиченими даними та аналізують проблеми, що виникають під час визначення видів.

Окремою формою залучення громадськості є BioBlitz – короткотривалі масштабні заходи, спрямовані на виявлення максимальної кількості видів на визначеній території. За підтримки iNaturalist до них можуть одночасно долучатися науковці, освітяни, студенти, туристи та представники місцевих громад. За результатами досліджень Ballard et al., така форма участі сприяє більш вираженому формуванню відчуття залученості до наукової діяльності, ніж традиційні екскурсійні формати.

Узагальнення міжнародного досвіду дає змогу визначити низку умов, від яких залежить результативність інтеграції громадянської науки в екологічну освіту. Насамперед йдеться про наявність фахівців, здатних координувати учасників та забезпечувати коректну ідентифікацію спостережень. Не менш важливо заздалегідь визначати не лише наукову, а й освітню мету проєкту та очікувані результати навчання. Значну роль відіграє регулярне інформування учасників про те, як їхні спостереження використовуються для дослідження та охорони природи.

БОГАТИРЕНКО В.А., БАРАН М.М., КОРІНЕНКО Б.В., КАМЕНСЬКИХ Д.С.,
ТКАЧЕНКО Т.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ПЕРЕРОБКА КАРТОНУ ЯК ОСВІТНЯ МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ СВІДОМОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ХІМІЇ

Український державний університет імені Михайла Драгоманова
01601, вул. Пирогова, 9, Київ, Україна; pk@udu.edu.ua

Abstract. This article discusses the dual potential of research on the catalytic pyrolysis of cardboard using acid-modified saponites: both as an effective chemical-technological method for resource conservation and as a powerful educational model within the framework of education for sustainable development. This integrated approach allows students to gain practical understanding of the principles of energy efficiency, waste-free technologies, and the circular economy, transforming environmental education from an abstract idea into an effective scientific tool.

Втілення концепції Освіти для сталого розвитку (ESD) в освітній процес, започатковане ЮНЕСКО і деклароване такими документами як «ESD for 2030 Roadmap» (UNESCO, 2020), «Greening Education Partnership» та «Transforming Futures» (2026), є одним із пріоритетних завдань формування екологічної свідомості та соціальної відповідальності за збереження довкілля [1]. Надзвичайно важливою є така зміна ключових орієнтирів в освітньому процесі під час підготовки майбутніх учителів хімії. Наразі можна виокремити кілька напрямків практичної реалізації завдань, визначених ЮНЕСКО і визнаних у всьому світі. Найчастіше до сучасних освітньо-професійних програм підготовки вчителя хімії включаються окремі дисципліни, пов’язані з вивченням зеленої та сталої хімії. Інший шлях – це інтеграція концепцій зеленої та сталої хімії в кожній хімічній дисципліні, а не розгляд їх як окремих змістових освітніх компонентів.

На нашу думку особливу роль в освіті майбутнього вчителя хімії відіграють експериментальні дослідження проблем, що відповідають концепціям зеленої хімії та сталого розвитку, які студенти можуть виконати на базі наукових установ – в лабораторіях інститутів хімії Національної академії наук України під керівництвом наукових співробітників. Це дає потужний поштовх у трансформації мислення від пасивного сприйняття екологічних проблем до проактивного пошуку рішень у межах зеленої та сталої хімії з використанням новітніх методик, сучасного аналітичного обладнання та передового наукового досвіду. Яскравим прикладом такої трансформації є вивчення однієї з наймасштабніших проблем забруднення довкілля – накопичення твердих побутових відходів, третина яких створюється целюлозно-паперовою промисловістю. Відповідно перетворення макулатури та гофрованого картону на високоліквідні хімічні продукти й енергоносії (біовугілля, біогаз, біопаливо, фурфурол тощо) або інші цінні матеріали є актуальною задачею. Зазвичай утилізація гофрокартону відбувається спалюванням чи захороненням на полігонах, що призводить не тільки до втрати сировини, але й викидам парникових газів. Альтернативним, екологічно безпечним підходом є термічна конверсія паперу (зокрема, піроліз), яка дозволяє одержати переважно біовугілля та супутні цінні продукти. Однак для підвищення ефективності процесів термодеструкції залишається відкритим питання пошуку відповідних каталітичних систем.

У цьому напрямку наукових досліджень в межах виконання кваліфікаційної роботи студенткою спеціальності А4.06 Хімія було апробовано глинисті мінерали – каолініт та сапоніт – як каталітичні системи у процесах повільного та швидкого піролізу гофрокартону і доведено перспективність використання кислотно модифікованого сапоніту. Робота виконувалась у інституті ІБОНХ імені В.П. Кухаря НАН України, що обумовило не тільки одержання цінних експериментальних результатів, а й дозволило розробити цікавий діяльнісно-орієнтований захід, адаптувавши дослідження до рівня учнів/учениць закладів загальної середньої освіти у контексті проєкту «Життєвий цикл паперових відходів на прикладі рішень компанії Mcdonalds».

Таким чином посилення освіти науковою складовою створює передумови для формування подвійної динамічної моделі в контексті освіти для сталого розвитку. Це дозволяє здобувачам освіти під час виконання наукових досліджень осягнути принципи ресурсозбереження, безвідходних технологій та циркулярної економіки. При цьому з абстрактної ідеї екологічного виховання переходить на рівень дієвого освітнього інструмента.

Список літератури:

1. Education for sustainable development: a roadmap. Collective author: UNESCO [12777] DOI: https://doi.org/10.54675/YFRE1448. ISBN: 978-92-3-100394-3. https://unesdoc.unesc o.org/

ХРУТЬБА Ю.С.[1], ЛИСАК Р.С.[2], ГОРІДЬКО Н.М.[2], ХРУТЬБА О.В.[2] (УКРАЇНА, КИЇВ),
БАРУН М.В.[3] (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АДАПТИВНОГО ЕКОСИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС В УКРАЇНІ

[1]Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
03022, вул. Васильківська, 90а, Київ, Україна; office@knu.ua
[2]Національний транспортний університет
01010, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, Київ, Україна; general@ntu.edu.ua
[3]Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна; admin@khadi.kharkov.ua

Abstract. The introduction of the principles of adaptive ecosystem management based on the Open Standards for the Practice of Conservation into the higher education system of Ukraine is considered. The experience of the course "Adaptive Ecosystem Management", which brought together academic staff and representatives of environmental protection institutions to solve real problems of biodiversity conservation, is analyzed. The development and testing of the course "Strategic Adaptive Management for Sustainable Restoration and Reconstruction" within the framework of the Erasmus+ TransLearnN project is described, during which international student teams created four pilot projects for the restoration of Ukraine. It is confirmed that the integration of Open Standards into higher education is an effective tool for training a new generation of specialists, and the experience gained can be useful for other countries with similar challenges.

Зміна клімату, втрата біорізноманіття та забруднення навколишнього природного середовища потребують ефективних, доказових підходів до охорони природи, які можна застосовувати в нестабільних умовах із параметрами, які швидко змінюються. Управління природними ресурсами доводиться здійснювати в умовах високої невизначеності, оскільки природні системи є нелінійними, містять складні зворотні зв'язки, знання про них неповні, а наявність великої кількості ризиків ускладнює процес і робить його інколи непередбачуваним. Тому замість фіксованих рішень пропонується застосовувати адаптивний підхід, який допоможе врахувати усі особливості ситуації, наявні ризики і можливості. Зазначений підхід розглядає управлінські дії як експерименти, визнає обмеженість знань і розширює їх через постійний моніторинг і навчання. Тому підготовка фахівців, які будуть володіти знаннями про вирішення проблем на основі адаптивного підходу, є актуальним завданням як сфери освіти, так і природно-заповідної справи.

Концептуальні основи адаптивного екосистемного менеджменту були закладені в роботах К. Холлінга, К. Волтерса, А. Бірдже, П. Ібіша. Важливий крок у розвитку адаптивного управління зробила глобальна спільнота неурядових організацій, урядових установ та приватного бізнесу Conservation Measures Partnership, яка розробила Відкриті стандарти для практики охорони природи (Open Standards for the Practice of Conservation), керуючись якими фахівці в усьому світі розробляють ефективніші та результативніші стратегії для збереження навколишнього природного середовища.

В Україні активне застосування Відкритих стандартів відбулося у 2024 році під час навчання представників освітянської та природоохоронної спільноти на курсі Юлії Нікітченко «Адаптивний екосистемний менеджмент» в рамках реалізації проєкту DAAD «Ukrainian-German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education». Учасники працювали у групах і вирішували реальні проблеми щодо збереження біорізноманіття, які існують в Україні. Курс набув значної популярності та був проведений ще раз через велику кількість охочих оволодіти методологією застосування Відкритих стандартів.

Застосування Відкритих стандартів в Україні продовжилося завдяки проєкту «Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine» (TransLearnN) в рамках програми Erasmus+, що був реалізований з 01.10.2023 по 30.09.2025. Стратегічна мета проєкту полягала в зміцненні соціально-політичної лідерської ролі українських університетів у контексті сталої реконструкції України, трансформуючи їх у потужні драйвери змін, що сприяють впровадженню сталих практик у процесах відновлення та трансформації.

В рамках реалізації проєкту провідними фахівцями та науковцями під керівництвом представниці Університету сталого розвитку Еберсвальде (Німеччина) Ангели Діхте було розроблено і

впроваджено в навчальний процес сімох українських університетів курс «Стратегічне адаптивне управління для сталого відновлення та реконструкції», що стало продовженням впровадження Відкритих стандартів для практики збереження природи, але з акцентом на сталу відбудову та відновлення. Практика охорони природи ґрунтується на командній роботі та участі різнопрофільних фахівців у вирішенні проблем збереження навколишнього природного середовища. Після розробки навчальний курс пройшов апробацію у співпраці викладачів зі студентами. Спочатку студенти в онлайн форматі вивчали теоретичні основи сталості, адаптивного управління та методологію Відкритих стандартів. Далі навчання продовжилося в очному форматі у міжнародних командах на базі Вільнюського технічного університету, де розробляли спільні проєкти. Командам вдалося створити чотири пілотні проєкти: рекреаційні та освітні простори для реабілітації ветеранів; кампанії з підвищення екологічної свідомості; план фінансування розмінування сільськогосподарських земель; збереження водного біорізноманіття. У процесі навчання студенти працювали із такими електронними ресурсами як Miro та Miradi. Перед впровадженням у навчальний процес українських університетів матеріали навчального курсу були перевірені неакадемічними експертами з наданням рекомендацій щодо їх удосконалення та було проведено анонімне анкетування учасників курсу для врахування думок здобувачів освіти при подальшій роботі над курсом.

Учасники високо оцінили групову роботу, спільні дискусії та ухвалення рішень, нетрадиційні підходи, сучасну методологію і командні навички. Проте вони вказали, що Miro та Miradi були для багатьох новими, тож потрібен додатковий час на їх опанування. Також вони запропонували збільшити кількість практичних офлайн-годин і додати приклади відновлення довкілля з інших країн для порівняння. Експерти-практики порадили формувати групи за галузевими секторами економіки, а не за територіями. Вони також рекомендували подавати матеріал на конкретних прикладах і скоротити теоретичну частину.

Інтеграція Conservation Standards у вищу освіту України є ефективним інструментом підготовки фахівців нового покоління, а міжнародні стандарти природоохоронної діяльності можна успішно адаптувати до українського контексту. Кожен формат впровадження Відкритих стандартів має свої переваги. Перший етап поєднав практичний досвід природоохоронців із науковим підходом викладачів і забезпечив глибоке занурення в регіональні проблеми. Другий формат створив умови для міжкультурного обміну, формування нових компетентностей і напрацювання різнопланових пілотних проєктів. Цифрові інструменти підвищують результативність. Попри початкові труднощі, Miro та Miradi значно покращили групову роботу та проєктне планування.

Впровадження курсу в семи університетах створює основу для формування спільноти фахівців, які володітимуть знаннями з адаптивного екосистемного менеджменту. Це сприятиме стандартизації підходів до природоохоронної освіти, формуванню єдиної методологічної бази проєктів, розвитку міжвузівської співпраці та інтеграції української спільноти в міжнародні мережі.

Отримані результати мають важливе наукове та практичне значення для розвитку екологічної освіти не лише в Україні, але й в інших країнах. Досвід може бути корисним для впровадження в інших країнах з подібними викликами у сфері збереження біорізноманіття та сталого розвитку. Успішна реалізація проєкту TransLearnN демонструє потенціал міжнародного співробітництва у трансформації освітніх підходів та підготовці нового покоління фахівців, здатних ефективно працювати в умовах екологічних викликів сучасності.

Список літератури:

1. Allen, C. R., & Garmestani, A. S. (Eds.). (2015). Adaptive management of social-ecological systems. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9682-8
2. Birgé, H. E., Allen, C. R., Garmestani, A. S., & Pope, K. L. (2016). Adaptive management for ecosystem services. Journal of Environmental Management, 183(Part 2), 343-352. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.054
3. Conservation Measures Partnership. (2020). Open standards for the practice of conservation (Version 4.0). https://conservationstandards.org/wp-content/uploads/sites/3/2023/09/CMP-Open-Standards-for-the-Practice-of-Conservation-v4.0-English.pdf
4. Ibisch, P. L., & Hobson, P. R. (Eds.). (2015). MARISCO: Adaptive management of vulnerability and risk at conservation sites. A guidebook for risk-robust, adaptive and ecosystem-based conservation of biodiversity. Centre for Econics and Ecosystem Management. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1813.8088
5. Miradi. (2024). Miradi software. https://www.miradishare.org/ux/about/#miradi-an-essential-tool-for-conservation
6. TransLearnN. (2025, May 20). Весняна школа TransLearnN 2025: Стратегічне адаптивне управління для сталої реконструкції та відновлення. https://translearnn.ztu.edu.ua/
7. Walters, C. J. (1986). Adaptive management of renewable resources (IIASA Executive Report). International Institute for Applied Systems Analysis. http://pure.iiasa.ac.at/2752/

Семінар 4 **Seminar 4**

СОНЬКО С.П. (УКРАЇНА, УМАНЬ), МАКСИМЕНКО Н.В. (УКРАЇНА, ХАРКІВ),
ВАСИЛЕНКО О.В. (УКРАЇНА, УМАНЬ), ГУРСЬКИЙ І.М. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

НООСФЕРНІ ЕКОСИСТЕМИ У РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Уманський національний університет
20305, вул. Інститутська, 1, Умань, Україна; sp.sonko@gmail.com
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, Харків, Україна; nadezdav08@gmail.com

Abstract. The paper examines the noospheric ecosystem concept as a framework for pursuing sustainable development. The authors argue that the growing emphasis on human development has weakened the ecological constraints underlying the 1992 Rio agenda. They propose bringing economic activity into closer alignment with biospheric processes, with agroecosystems playing a central role. Spatial rotation of agricultural and urban functions is considered a possible means of easing territorial pressure. The capacity of ecosystems to regenerate is proposed as the principal criterion for assessing sustainability.

Досягнення цілей сталого розвитку, на нашу думку, потребує такого устрою природокористування, за якого господарська діяльність узгоджується з можливостями відновлення біосфери. Аналіз змін концепції після конференції в Ріо-де-Жанейро 1992 року дає підстави поставити під сумнів достатність її сучасних орієнтирів [1]. Вважаємо, що посилення антропоцентричного підходу, особливо після 2015 року, відсунуло на другий план початкову вимогу обмежувати тиск суспільства на природу. Мета цієї роботи полягає в обґрунтуванні ноосферних екосистем як просторової основи повернення до такого обмежувального розуміння сталості.

Поворот до пріоритетів людського розвитку автори пов'язують із самітом у Йоганнесбурзі. Прагнення поширити стандарти добробуту індустріальних суспільств, за нашою оцінкою, не супроводжувалося відповідним стримуванням ресурсного споживання. Через це соціально бажані результати дедалі складніше узгоджувати з екологічними межами. Політичним відображенням цієї суперечності автори вважають посилення лівих ідей у Європі. Припущення про використання Росією закликів до об'єднання знедолених для ідеологічного виправдання своєї агресії розглядаємо як можливу інтерпретацію, яка потребує окремого обґрунтування.

Запропонований підхід передбачає включення людини в біосферні взаємозв'язки через наближення господарства до принципів натурального відтворення. Його територіальними складниками є агро-, урбо- та інфраекосистеми [2]. Особливе місце відводимо агроекосистемам, оскільки саме вони зберігають безпосередній зв'язок життєзабезпечення населення з ґрунтом. Ґрунтовий покрив трактуємо як можливий носій структурної та інформаційної «пам'яті» біосфери. Уявлення про його ризоматичні, умовно нейронні зв'язки є авторською гіпотезою, співзвучною концепції Геї та теорії біотичної регуляції. У межах цього пояснення продовольчі обмеження, хвороби й війни пов'язуються зі зворотними впливами на чисельність людей; такий причинний зв'язок також потребує перевірки.

Просторовий аспект екологічної кризи вбачаємо в неузгодженому поєднанні систем, які по-різному використовують територію. Розширення міст, сільськогосподарських угідь та інфраструктури посилює конкуренцію за обмежений географічний простір. Припускаємо, що накопичення цих суперечностей здатне спричинити зміну самої організації людського середовища. У концепції розрізняємо два сценарії зниження просторового тиску. Екстенсивний передбачає вдосконалення територіальних поєднань на Землі й відтермінування критичного перенасичення. Інтенсивний пов'язуємо з поступовим створенням штучних екосистем за межами планети. Для найближчої перспективи більш здійсненним вважаємо перший варіант.

Практичним інструментом земного сценарію пропонуємо просторову ротацію функцій агро- та урбоекосистем зі збереженням зв'язувальної ролі інфраструктури (рис. 1). За такого підходу співвідношення територіальних складників змінюється відповідно до потреб відновлення природних процесів. Модель допускає різні поєднання поселень, аграрних територій, рекреаційних осередків та елементів екомережі. Конкретні рішення слід розглядати на відповідному просторовому рівні [2]. Критерієм прийнятності цих змін пропонуємо здатність екосистем відтворювати власну структуру й функції після господарського втручання. Саме збереження цієї здатності визначає зміст ноосферного сценарію сталого розвитку.

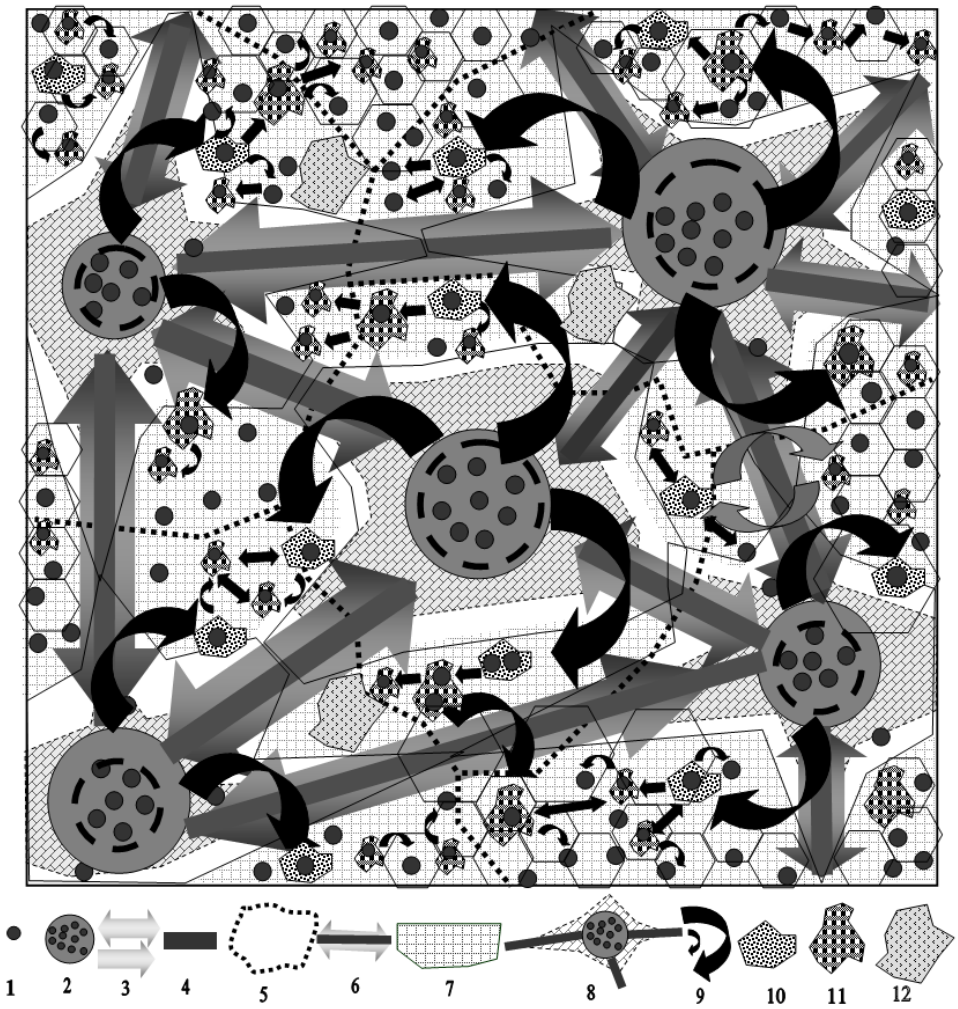


Рис. 1. Просторова ротація функцій у моделі взаємодії суспільства і природи [2]
Умовні позначення: 1 — людина (Homo sapiens); 2 — міські поселення; 3 — інформаційні зв'язки; 4 — транспортні шляхи; 5 — зони впливу постійних поселень; 6 — інфраекосистеми; 7 — агроекосистеми; 8 — урбоекосистеми; 9 — напрями ротації аграрних і міських функцій; 10 — осередки дезурбанізації: ерголандшафтні зони, агрорекреаційні парки, «дендрополіси» та «аквраполіси»; 11 — сільські поселення; 12 — елементи екомережі.

Висновки. Ноосферний підхід пов'язує перспективу сталого розвитку з підтриманням відновних можливостей біосфери. Агроекосистемам у цій моделі належить провідна роль як просторовим аналогам екологічної ніші людини. Узгодження їхніх функцій із функціями міст та інфраструктури пропонуємо здійснювати через просторову ротацію. Оцінювати результативність природокористування слід за тим, наскільки господарські перетворення зберігають механізми самовідтворення природних систем. Отже, реалізація цілей сталого розвитку потребує врахування екологічних обмежень у територіальній організації суспільства.

Список літератури:

1. Сонько С. П. Сталий розвиток: 25 років надій та розчарувань. Сталий розвиток — стан та перспективи: матеріали Міжнародного наукового симпозіуму SDEV'2018 (Львів–Славське, 28 лютого — 3 березня 2018 р.). Львів: Львівська політехніка, 2018. С. 59–63. http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/6620
2. Сонько С., Максименко Н. Ноосферне бачення концепції сталого розвитку. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2025. Вип. 63. С. 604–618. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-45

ЩУСЬ В.М. ШИЛО С.І. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

SCANDRIS: СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ ТА ПРОФЕСІЙНОГО ВИХОВАННЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

НУ «Запорізька політехніка», кафедра «Електричні та електронні апарати», 69011, Україна, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64, e-mail: Nittz.ltd@gmail.com

Abstract. The paper presents SCANDRIS as a systemic methodology for sustainable engineering education, integrating educational, engineering-practice and institutional domains through adaptive trajectories, traceable evidence, uncertainty-aware decisions and SCANDRIS V-LAB digital support under human responsibility.

Сучасна інженерна освіта для сталого розвитку має забезпечувати не лише засвоєння фундаментальних знань, а й формування здатності аналізувати складні технічні системи, обгрунтовувати рішення та відповідально оцінювати їхню безпеку, надійність і ресурсну доцільність. Це відповідає Порядку денному ООН до 2030 року: завдання 4.7 Цілі 4 «Якісна освіта» передбачає набуття знань і навичок, необхідних для сприяння сталому розвитку [1], GreenComp пов'язує цей результат із системним і критичним мисленням, баченням майбутнього та дією для сталості [2], а International Engineering Alliance у рамці Graduate Attributes and Professional Competencies визначає серед ключових результатів інженерної підготовки здатність ідентифікувати, формулювати й аналізувати складні інженерні проблеми, розробляти рішення, проводити дослідження, оцінювати вплив інженерної діяльності на сталий розвиток, а також дотримуватися професійної етики та відповідальності [3] та UNESCO розглядає освіту для сталого розвитку як цілісний і трансформаційний процес, що охоплює когнітивний, соціально-емоційний і поведінковий виміри навчання та спрямований на формування знань, навичок, цінностей і ставлень, необхідних для прийняття поінформованих рішень і відповідальної діяльності в інтересах сталого майбутнього [4].

Метою роботи є концептуальне обгрунтування системної методології SCANDRIS (Scientific Cyber-Physical Adaptive Network for Design, Research, Innovation and Simulation), як інженерної освіти для сталого розвитку, що інтегрує освітній, інженерно-практичний та інституційний контури. Освітній формує знання й наукове мислення; інженерно-практичний - їх застосування через розрахунок, моделювання, проєктування, експеримент і перевірку; інституційний - ресурси, якість, безпеку, відповідальність, простежуваність і повернення перевіреного досвіду до освіти. Орієнтири: ISO 21001:2025 [5], ISO/IEC/IEEE 15288:2023 [6], ISO/IEC/IEEE 29148:2018 [7], ISO 31000:2018 [8], ISO 30422:2022 [9].

Теоретико-практичний механізм починається з професійної проблеми, потреби або нової можливості, що потребує обгрунтованого рішення. Визначаються вимоги, критерії оцінювання результату й технічне завдання; формуються гіпотези, обираються моделі й методи, виконуються розрахунки, цифрове моделювання, аналіз даних та експериментальна перевірка. Послідовність: «проблема / потреба / можливість → вимоги →технічне завдання →теоретична база →дослідження → модель → практичне виконання → перевірка → результат → досвід → уточнення знання». Внутрішню логіку визначає цикл «Знання → Пізнання → Усвідомлення → Створення → Доказ → Впровадження → Нове знання», де «Доказ» - підтвердження результату об'єктивними свідченнями:

$$z_n \rightarrow p_n \rightarrow a_n \rightarrow c_n \rightarrow d_n \rightarrow i_n \rightarrow \Delta z_n \rightarrow z_{n+1} \qquad (1)$$

У (1) z_n - стан знання; p_n - пізнавально-дослідницька робота з постановкою задачі, даними, гіпотезами й припущеннями; a_n - професійне усвідомлення сутності, ризиків, обмежень і відповідальності; c_n - створення перевірюваного результату; d_n - доказове підтвердження; i_n - контрольоване впровадження, апробація або застосування; Δz_n - обгрунтована зміна знання; z_{n+1} - оновлений стан наступного циклу. Перехід до оновленого стану знання описується співвідношенням:

$$\Delta z_n = \Phi(r_n, q_n, \delta_n, b_n, \varepsilon_n, \ell_n);\ z_{n+1} = T(z_n, \Delta z_n) \qquad (2)$$

У (2) r_n - фактичний результат; q_n - якість і достатність об'єктивних свідчень; δ_n - розбіжність прогнозу й факту; b_n - зворотний зв'язок; ε_n - помилки, невідповідності й обмеження; ℓ_n - узагальнені висновки та методичні уроки; Ф - функція науково-методичного узагальнення; Т - оператор оновлення знання. Співвідношення (1)-(2) описують його перевірене оновлення, що в освітньому контурі конкретизується адаптивною траєкторією:

$$E_n^{(p)}=P_0 \oplus R_n^{(p)} \oplus X_n^{(p)} \quad (3)$$

У (3) $E_n^{(p)}$ - освітня траєкторія здобувача p у n-му циклі; p - індекс здобувача; n - номер циклу; P_0 - обов'язкове фундаментальне й професійне ядро результатів навчання та компетентностей; $R_n^{(p)}$ - адаптивний маршрут опанування; $X_n^{(p)}$ - додатковий дослідницький, або проєктний простір; $\oplus$-структурне, а не арифметичне поєднання. Адаптивність змінює маршрут, але не вимоги до професійного результату. Перехід до професійної дії відбувається в інженерно-практичному контурі, де обгрунтованість результату забезпечує доказова простежуваність:

$$Pr_i \rightarrow Req_i \rightarrow Mod_i \rightarrow Art_i \rightarrow V_i \rightarrow Ev_i \rightarrow Dec_i \quad (4)$$

У (4) i - індекс простежуваного ланцюга; Pr_i - професійна проблема або потреба; Req_i - перевірювана вимога; Mod_i - модель; Art_i - інженерний результат; V_i - процедура верифікації та/або валідації; Ev_i - об'єктивні свідчення; Dec_i - технічне або методичне рішення. Такий простежуваний ланцюг робить підстави професійного рішення явними, але не усуває невизначеність, зумовлену неповнотою знань, даних, умов, припущень або наслідків. Такий характер невизначеності визначає вимоги до професійної компетентності здобувача: здатності розпізнавати, структурувати й зменшувати невизначеність або обгрунтовано приймати її залишковий рівень, зіставляючи альтернативи, ризики та об'єктивні свідчення. Ця вимога визначає організацію навчання за логікою, орієнтованою на професійний результат: «очікуваний професійний результат → критерії оцінювання → вимоги до об'єктивних свідчень → навчально-дослідницькі дії → методи та цифрові й лабораторні засоби → отриманий результат → об'єктивні свідчення → оцінювання відповідності встановленим критеріям → зворотний зв'язок → коригування наступної ітерації». Для інструментально-цифрової підтримки цієї логіки передбачається цифрове лабораторне середовище SCANDRIS V-LAB для розрахунків, моделювання, A/B/C тестування, віртуальних експериментів, підготовки випробувань і простежуваності результатів. ШІ-асистент забезпечує інформаційно-аналітичну підтримку, а перевірка результатів, професійні рішення та відповідальність залишаються за людиною [10]. У такий спосіб цифрове середовище підтримує взаємодію трьох контурів, не підміняючи професійне судження людини. Їх узгоджена взаємодія формує безперервний професійний розвиток: знання переходить у практичне виконання, результат - у досвід, досвід - у стійкі способи дії, а їх застосування в нових умовах - у компетентність.

Результати проведеного концептуального дослідження дають підстави запропонувати SCANDRIS як системну теоретико-практичну методологію інженерної освіти для сталого розвитку, у якій професійна проблема, актуальна потреба або нова можливість ініціює інженерно-дослідницький процес; знання переходить у практичне виконання й перевірюваний результат, результат - у досвід і компетентність, а перевірений досвід - в оновлене знання. Запропонована логіка формує методологічні передумови для поєднання професійної результативності, відповідальності та здатності діяти в умовах невизначеності; її вплив на формування компетентностей для сталого технологічного й суспільного розвитку потребує подальшої емпіричної апробації.

Список літератури:

1. United Nations General Assembly. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1). United Nations.
2. Bianchi, G., Pisiotis, U., & Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp: The European sustainability competence framework. Publications Office of the European Union.
3. International Engineering Alliance. (2021). Graduate Attributes and Professional Competencies (Version 2021.1).
4. UNESCO. (2020). Education for Sustainable Development: A Roadmap. UNESCO.
5. International Organization for Standardization. (2025). ISO 21001:2025, Educational organizations - Management systems for educational organizations - Requirements with guidance for use.
6. ISO/IEC/IEEE. (2023). ISO/IEC/IEEE 15288:2023, Systems and software engineering - System life cycle processes.
7. ISO/IEC/IEEE. (2018). ISO/IEC/IEEE 29148:2018, Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering.
8. International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018, Risk management - Guidelines.
9. International Organization for Standardization. (2022). ISO 30422:2022, Human resource management – Learning.
10. Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for Generative AI in Education and Research. UNESCO.

СЕМІНАР 5

ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКИЙ СУПРОВІД РОЗРОБЛЕННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ І КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ЕКОІННОВАЦІЙ У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

ПЕТРУШКА К.І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

УПРАВЛІННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯМ ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОІННОВАЦІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна; kateryna.i.petrushka@lpnu.ua

Abstract. This paper examines the relationship between resource conservation management and the process of implementing eco-innovations at the micro-level. It is argued that effective resource conservation serves as the cornerstone for reducing environmental impact and enhancing the competitiveness of business organisations in the context of sustainable development. An economic and managerial approach to supporting eco-innovations is proposed, underpinned by examples of the practical application of resource-saving technologies in industry and the agricultural sector.

Сучасний етап розвитку економіки вимагає від підприємств докорінного перегляду підходів до господарювання через посилення екологічних викликів та подорожчання традиційних ресурсів. Перехід до парадигми сталого розвитку перетворює ресурсозбереження на ключовий стратегічний орієнтир. У цьому контексті управління ресурсозбереженням виступає надійним фундаментом, без якого неможливе успішне розроблення, впровадження та подальша комерціалізація екоінновацій.

Екоінновації охоплюють продукти, процеси чи організаційні методи, що мінімізують негативний вплив на довкілля. Проте їх впровадження часто вимагає суттєвих капіталовкладень. Саме дієва система управління ресурсозбереженням дозволяє оптимізувати внутрішні витрати та сформувати базу для інновацій.

Економіко-управлінський супровід екоінновацій через призму ресурсозбереження на практиці знаходить своє втілення в кількох ключових напрямах, а саме: енергоменеджмент та перехід на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) у промисловості; застосування концепції циклічної економіки (Circular Economy) та безвідходного виробництва; оптимізація матеріаломісткості та еко-дизайн упаковки у ритейлі та виробництві товарів масового попиту.

Багато виробничих підприємств (зокрема у целюлозно-паперовій чи металургійній галузях) впроваджують системи управління енергоефективністю за стандартом ISO 50001. Управлінським рішенням стає встановлення когенераційних установок, які використовують відхідне тепло виробництва для генерації електроенергії. Це дозволяє не лише скоротити споживання первинного газу на 20–30%, а й перетворити технологічні відходи на ресурс, знижуючи собівартість кінцевого екопродукту.

У харчовій промисловості та агросекторі управління ресурсозбереженням реалізується через глибоку переробку сировини. Наприклад, переробка органічних відходів агрохолдингів на біогаз та органічні добрива. Економічний супровід такого процесу включає оцінку життєвого циклу (LCA): підприємство скорочує витрати на утилізацію сміття, отримує власну дешеву енергію та створює новий комерційний екопродукт (добрива), успішно комерціалізуючи його на ринку.

Впровадження систем екологічного контролінгу дозволяє компаніям переглянути дизайн пакування (зменшення товщини пластику, перехід на біорозкладні матеріали з цукрової тростини чи крохмалю). Управлінський аспект тут полягає в перерахунку логістичних витрат та норм витрачання сировини: менша вага упаковки економить ресурси на транспортування і водночас задовольняє попит екологічно свідомих споживачів, підвищуючи ринкову капіталізацію бренду.

Комплексний економіко-управлінський супровід екоінновацій забезпечує синергетичний ефект, поєднуючи екологічну відповідальність із комерційною вигодою. Застосування сучасних інструментів контролінгу, екологічного аудиту та оцінки життєвого циклу продукції (LCA) дозволяє оптимізувати матеріальні й енергетичні потоки на всіх етапах виробництва.

Інтеграція цілей ресурсозбереження в загальну стратегію підприємства створює синергетичний ефект. Практичний досвід показує, що управління ресурсозбереженням не є додатковим тягарем для бізнесу, а слугує каталізатором екоінноваційних трансформацій. Воно забезпечує зниження операційних ризиків, окупність інвестицій у зелені технології та зміцнення конкурентних позицій у довгостроковій перспективі.

В умовах переходу до сталого розвитку управління ресурсозбереженням трансформується з локальної функції операційної діяльності на базовий стратегічний орієнтир підприємства. Воно формує надійний фундамент, який мінімізує екологічні ризики та створює передумови для успішного генерування екоінновацій.

ВЕРНІГОРОВА Н.В. (УКРАЇНА, ОДЕСА)

ЛІСОВІ СТЕЖКИ ЯК ПРИРОДНИЙ АКТИВ

Державна установа «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень НАН України», 65044, Україна, м. Одеса, Французький бульвар, 29; oss_iprei@ukr.net

Abstract. Forest ecosystems possess cross-sectoral value, making forest management approaches a frequent subject of debate. The regulation of forestry activities can be supported by advancing the concept of specialized forest trails, whose location and design are determined by landscape value, economic viability, logistical demands, public needs, and recreational capacity. The experience of the United States and South Korea demonstrates the status of forest trails as valuable socio-ecological and economic assets. Developing a comprehensive forest trail strategy in Ukraine would provide a viable framework for resolving contentious issues across forestry and related sectors.

Лісові стежки є важливою складовою інфраструктури лісового простору та виконують ряд функцій, які можна віднести до міжгалузевих: логістика сировини та матеріалів; переміщення працівників; переміщення відвідувачів з метою відпочинку, екологічної просвіти та оздоровлення (теренкур). Окрема увага до планування лісових стежок та їх ролі у розподілі навантаження на лісову екосистему представлено у деяких провідних працях зарубіжних колег (Tampekis, 2025; Kantartzis et al. 2021), що дають новий погляд на проблему планування лісового простору, логістики, доступності лісових масивів та організацію лісогосподарської діяльності.

У зарубіжній практиці (наприклад в США), є досвід, коли лісова стежка розглядається як актив, що переводить її зі статусу інфраструктурної складової в об'єкт економічного інтересу. Згідно Закону про американські природні простори 2020 року (Great American Outdoors Act, 2020), під поняття «актив» серед іншого підпадають в тому числі: «…ландшафт, стежка, які мають певну послугу або функцію; та відстежується та управляється як окрема, ідентифікована сутність відповідним охопленим агентством» (Стаття 134, розділ 682). Щоб зрозуміти особливості такого статусу стежок у США, варто звернутись до іншого нормативного акту – Закону про національну систему стежок 1968 року (National Trails System Act, 1968). Згідно даного документу встановлено чотири класи стежок: національні мальовничі стежки, національні історичні стежки, національні рекреаційні стежки та додаткові та сполучні стежки. Кожна з них призначена для виконання конкретних функцій, а доступ до мальовничих, історичних та рекреаційних стежок часто здійснюється в контексті турів та освітньо-рекреаційних заходів.

Що стосується підпорядкування, то в США окремо організуються рекреаційні стежки що керуються Міністерством внутрішніх справ (керує національними парками), та Міністерством сільського господарства (керує національними лісами), з присвоєнням їм статусу «Національної». Всі національні рекреаційні стежки вносяться в єдину електронну базу, з метою більш широкого розповсюдження інформації про них серед населення та залучення відвідувачів. Окремо виділяються «сертифіковані тропи лісової терапії» які згідно тлумачення «Асоціації гідів лісової та природної терапії» означають спеціально спланованої маршрути, які покликані сповільнити темп та допомогти поєднатись з природою. Таким чином, лісові стежки є важливою складовою туристичної та рекреаційної інфраструктури, та виступають як самостійний рекреаційний об'єкт або дестинація.

Інший цікавий досвід існує у Південній Кореї. Згідно Статті 22-2 Закону про лісове господарство, культуру та відпочинок (FORESTRY CULTURE AND RECREATION ACT, 2020), виділяють такі види стежок:

1. Гірські стежки – призначені для альпінізму;
2. Пішохідні стежки – для прогулянок з метою знайомства з місцевою та культурою, споглядання краєвидів, зміцнення здоров'я. Вони є складовою пішохідного туризму.
3. Спортивні стежки – для занять спортом (переважно гірські види спорту);
4. Дослідницькі стежки – для проведення досліджень, вивчення та спостережень за станом екосистем;
5. Лісові стежки для відпочинку та оздоровлення.

Основні складові успішного розвитку лісових стежок з точки зору їх економічної привабливості та доцільності закладаються у Генеральному плані лісових стежок, який містить наступне: цілі та політику щодо лісових стежок; попит та перспективи розвитку лісових стежок; заходи щодо сприяння

організації лісових стежок та створенню управлінської інфраструктури; заходи щодо створення та функціонування інформаційних мереж.

Зі стаття 24 Закону про лісове господарство, культуру та відпочинок можна зрозуміти, що в Південній Кореї існують інструменти підтримки розвитку лісових стежок. Міністерство Лісової служби Кореї може субсидувати витрати, понесені на створення, експлуатацію, управління тощо лісовими стежками місцевим органом влади. Субсидії передбачені переважно для наступних лісових стежок: для основних гірських стежок вздовж хребтів, що з'єднують вершини гори; для пішохідних стежок великих гір; для дослідницьких маршрутів або старих стежок, що пов'язані з історичними та культурними місцями, або потребують збереження в історичному контексті; для спортивних стежок, що необхідні для проведення національних або міжнародних спортивних заходів (FORESTRY CULTURE AND RECREATION ACT, 2020).

При цьому, зі статті 35 (Положення про покарання) Закону про лісове господарство, культуру та відпочинок можна зрозуміти, що в Південній Кореї лісові стежки розглядаються як культурний актив. Покарання за нанесення шкоди лісовим культурним активам досить суворі: за знищення визначеного культурного активу в лісі шляхом підпалу передбачається позбавленням волі з примусовими роботами на строк щонайменше сім років.

Таким чином, лісові стежки можуть самі по собі виступати цінним культурним об’єктом, а отже потребують особливого планування, комплексного підходу щодо управління та організації. Побудова національної концепції щодо лісових стежок може значно посприяти розвитку туристичної сфери в цілому, а також перевлаштуванню лісового господарства на більш природо орієнтовані підходи.

Що стосується України, то спеціалізовані стежки згідно чинного законодавства виділяються у зонах регульованої рекреації природних комплексів та національних природних парків. Саме в цих межах «проводяться короткостроковий відпочинок та оздоровлення населення, огляд особливо мальовничих і пам’ятних місць», а тому «у цій зоні дозволяється влаштування та відповідне обладнання туристських маршрутів і екологічних стежок» (Закон України «Про природно-заповідний фонд України», 1992). Загалом, в Україні практика розвитку лісових стежок як культурних активів розвинута досить слабко. Для перейняття кращих практик щодо організації лісових стежок як цінних культурних лісових активів значного вдосконалення потребують наступні аспекти: нормативне регулювання (розширення термінологічного розуміння видів лісових стежок та їх застосування); розвиток фінансово-економічних стимулів та інституційної підтримки щодо природо орієнтованих рішень в сфері лісівництва; розвиток заходів підтримки лісівництв в організації спеціалізованих лісових стежок; підвищення культурної та суспільної значущості лісових екосистем.

Подяки: *Наукове дослідження за проєктом «Інвестиційна привабливість зелених насаджень терапевтичного значення у контексті викликів війни та повоєнного відновлення», № 2025.05/0016, виконане на кошти гранту Президента України на підтримку наукових досліджень та розробок для докторів філософії (до 35 років включно), наданого Національним фондом досліджень України.*

Список літератури:

1. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 34, ст.502). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12?find=1&text=%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%B6#w1_1
2. FORESTRY CULTURE AND RECREATION ACT. Act No. 17421, Jun. 9, 2020 https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawViewContent.do?hseq=54797
3. Great American Outdoors Act, Pub. L. No. 116-152, 134 Stat. 682 (2020). U.S. Congress. https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/1957
4. Kantartzis, A., Arabatzis, G., Christopoulou, O., Sfougaris, A., Sakellariou, S., Malesios, C., Tsiaras, E., Samara, F., & Tampekis, S. (2021). Forest roads planning and management in terms of Social-Ecological Systems (SES) framework. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 899(1), Article 012052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/899/1/012052
5. National Trails System Act Legislation. (2025, May 22). National Park Service. https://www.nps.gov/subjects/nationaltrailssystem/national-trails-system-act-legislation.htm
6. Tampekis, S. (2025). Fragility-driven framework for optimizing forest road planning on a Mediterranean island. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, 10*, 4425–4446. https://doi.org/10.1007/s41207-025-00921-z

ПОКШЕВНИЦЬКА Т.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ ВЛАСНІСТЮ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ЕКОІННОВАЦІЙ

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»; 03142, м. Київ, пр. Академіка Палладіна, 34А; officenttn@gmail.com

Abstract The paper considers intellectual property management as an element of environmental management that connects the development of environmental technologies with their legal protection, transfer and commercialization. The role of digital monitoring in generating new technological solutions is highlighted. A management sequence from identifying an environmental problem to evaluating the results of using an intellectual property object is proposed. The approach supports the integration of Green IP into innovation management and sustainable development.

Екологічний менеджмент охоплює не лише контроль за дотриманням природоохоронних вимог, а й організацію розроблення та впровадження технологічних рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу на довкілля. Частина таких рішень створюється безпосередньо підприємствами, науковими установами або у процесі їхньої спільної діяльності. У результаті виникають технології, методики, програмні продукти та інші результати інтелектуальної діяльності, для яких необхідно визначати доцільний спосіб правової охорони та подальшого використання. Саме тому управління інтелектуальною власністю доцільно розглядати як складову інноваційного екологічного менеджменту.

Особливого значення це набуває в умовах діджиталізації природоохоронної діяльності. Системи дистанційного зондування Землі, сенсорні мережі, геоінформаційні технології, штучний інтелект та засоби оброблення великих масивів даних розширюють можливості екологічного моніторингу. Водночас їх використання сприяє появі нових алгоритмів, методик збору й оброблення інформації, програмного забезпечення та технічних рішень, які можуть набувати ознак об’єктів інтелектуальної власності. Отже, результатом цифровізації є не тільки інформація для прийняття управлінських рішень, а й нові нематеріальні активи організації. Управління такими результатами не повинно обмежуватися етапом отримання патенту або іншого охоронного документа. Управлінське рішення починається з моменту виявлення екологічної проблеми та визначення потреби у новому або вдосконаленому технологічному рішенні. Далі необхідно встановити, чи має отриманий результат самостійну технологічну цінність, визначити можливий об’єкт інтелектуальної власності, оцінити доцільність його правової охорони та обрати спосіб подальшого використання. Така послідовність дає змогу пов’язати управління інновацією з управлінням її інтелектуальною власністю. У межах Green IP Management доцільно виокремити чотири взаємопов’язані управлінські завдання: ідентифікацію результатів інтелектуальної діяльності, їх правову охорону, визначення економічної та технологічної цінності, а також вибір способу використання. На практиці це передбачає проведення патентного аудиту, формування стратегії охорони, визначення потенційних користувачів технології, підготовку ліцензійних або трансферних механізмів та контроль результатів упровадження. Такий підхід відповідає сучасному розумінню «зелених» технологій та інтелектуальної власності як взаємопов’язаних елементів інноваційної діяльності [1, 2].

Важливим є розмежування правової охорони та комерціалізації. Наявність патенту сама по собі не забезпечує економічного результату. Після набуття правової охорони власник має визначити, чи використовувати розробку самостійно, передавати права, ліцензувати технологію або залучати партнерів для її масштабування. Для екологічних інновацій це особливо важливо, оскільки їхня цінність може одночасно визначатися економічним ефектом і природоохоронним результатом. Тому критерії управління мають враховувати не лише можливі доходи від використання об’єкта, а й його здатність забезпечувати ресурсозбереження, зменшення викидів, скорочення відходів або інший екологічний ефект. Окремим елементом є управління портфелем об’єктів інтелектуальної власності. Підприємство або наукова установа може мати декілька взаємопов’язаних розробок, для яких застосовуються різні способи охорони. У такому випадку доцільно оцінювати не лише кожний об’єкт окремо, а й можливість їх спільного використання у межах технологічного рішення. Це створює передумови для формування цілісної стратегії Green IP, у якій правова охорона розглядається як інструмент підтримки інноваційного процесу, а не як його завершальна стадія.

Доцільність такого управління підтверджується і розвитком підходів до «зелених» технологій та прискорення їх правової охорони. Для екологічних інновацій важливо скорочувати часовий розрив між створенням технологічного рішення, набуттям правової охорони та його практичним використанням [1, 2]. Водночас вибір способу охорони має залежати від характеру розробки: для технічних рішень пріоритетним може бути патентування, для програмних продуктів та інформаційних матеріалів — авторсько-правова охорона, а для окремих елементів комерційної цінності — збереження конфіденційності. Така диференціація дає змогу уникати формального підходу до охорони ІВ та пов'язати її з реальною стратегією екологічного менеджменту. Управлінське значення має також своєчасне визначення правового статусу результату. На етапі розроблення екологічної технології необхідно враховувати не лише технічні характеристики майбутнього рішення, а й можливість виникнення прав на нього, розподіл прав між учасниками розроблення та умови подальшого використання. Особливо це стосується спільних досліджень, коли до створення технології залучаються наукові установи, підприємства та інші організації. Чітке визначення прав на результати інтелектуальної діяльності зменшує ризики конфліктів під час передачі технології та створює передумови для її подальшого впровадження.

Для України такий підхід має практичне значення у процесах модернізації та відновлення. Розроблення природоохоронних технологій потребує не лише наукового обґрунтування, а й створення умов для їх упровадження та поширення. Ефективне управління інтелектуальною власністю може сприяти залученню партнерів, трансферу технологій та формуванню додаткових джерел фінансування інновацій. Водночас прискорення розвитку «зелених» технологій потребує узгодження інтересів правовласника, користувача технології та суспільства. Саме тому питання ліцензування, трансферу та доступності екологічних рішень мають розглядатися як складові управлінської стратегії.

З огляду на це, Green IP Management доцільно інтегрувати до загального циклу екологічного менеджменту: виявлення екологічної проблеми → розроблення або вдосконалення технологічного рішення → ідентифікація об'єкта інтелектуальної власності → вибір способу правової охорони → оцінювання цінності → комерціалізація або трансфер → оцінювання екологічного та економічного результату. Отримані результати оцінювання можуть бути використані для прийняття наступних управлінських рішень щодо вдосконалення технології, її масштабування або припинення використання.

Отже, ефективність Green IP Management доцільно оцінювати за сукупністю показників, а не лише за кількістю отриманих охоронних документів. До управлінського оцінювання можуть бути віднесені кількість і структура об'єктів ІВ, частка технологій, що реально використовуються, кількість ліцензійних та трансферних угод, отримані доходи від використання прав, а також показники екологічного ефекту від упровадження захищених рішень. Така система показників дозволяє оцінювати не сам факт створення інтелектуальної власності, а результативність управління нею.

Важливою передумовою є проведення патентного та технологічного аудиту. Такий аудит дає можливість встановити, які результати вже створені організацією, які з них мають ознаки об'єктів інтелектуальної власності, які права на них належать окремим учасникам і які об'єкти доцільно включати до подальшої стратегії. Результати аудиту можуть бути використані для формування портфеля Green IP та визначення пріоритетів його розвитку. При цьому рішення про підтримання правової охорони має пов'язуватися з фактичною технологічною цінністю, перспективою використання та можливістю отримання екологічного або економічного ефекту.

Такий підхід змінює роль інтелектуальної власності в екологічному менеджменті. Вона розглядається не тільки як засіб юридичного захисту вже створеної розробки, а як ресурс, яким необхідно управляти нарівні з іншими ресурсами інноваційної діяльності. Для підприємства це створює можливість пов'язати витрати на дослідження і розроблення з подальшим використанням результатів, а для наукової установи — визначити механізми передачі створених технологій користувачам. У випадку екологічних інновацій це додатково дозволяє враховувати суспільну цінність технології та її внесок у досягнення природоохоронних результатів.

Список літератури:

3. Старовіт, О. (2023). Прискорена експертиза патентних заявок на «зелені» технології: зарубіжний досвід для України. Теорія і практика інтелектуальної власності, 3, 33–42. https://doi.org/10.33731/32023.282170

4. УКРНОІВІ. (2024). Зелені технології, інновації та інтелектуальна власність. Київ: УКРНОІВІ.

Краснова, Ю. А., & Кірін, Р. С. (2025). Системні підходи до визначення ефективності інтеграції у правове поле ЄС через призму правових категорій та принципів екологічного права. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія Право, 91(2), 221–231. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.91.2.28

Семінар 5 Seminar 5

РЯБОКОНЬ А.Є. (УКРАЇНА, ОДЕСА)

МОДЕЛЬ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ EMAS ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОІННОВАЦІЙ

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, кафедра екології та охорони довкілля, вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса; env_prot@onu.edu.ua

Abstract. The study examines the EMAS environmental management model as an organisational framework for supporting eco-innovation at the enterprise level. It is established that EMAS can be conceptualised as an institutionalised management cycle in which environmental aspects are identified and quantitatively assessed, translated into environmental objectives and used to create conditions for technological and organisational solutions. The outcomes of their implementation are subject to performance evaluation, auditing, independent verification, and public disclosure. The application of this approach may support the environmental modernisation of Ukrainian enterprises and their gradual integration into European environmental management practices.

Трансформація моделі господарювання відповідно до принципів сталого розвитку актуалізує необхідність переходу підприємств від реагування на наслідки негативного впливу на довкілля до системного управління екологічною результативністю. За таких умов екоінновації набувають значення не лише як окремі технологічні рішення, а як складова управлінського процесу, спрямованого на скорочення ресурсоспоживання, утворення відходів і викидів, удосконалення виробничих процесів та екологічних характеристик продукції. Практика екологічного управління свідчить, що впровадження чистіших виробничих процесів шляхом технологічної оптимізації може забезпечувати одночасне зменшення використання ресурсів і забруднення та формувати економічні переваги для підприємства [1].

Схема екологічного менеджменту та аудиту EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) є добровільним інструментом Європейського Союзу, призначеним для оцінювання, звітування та постійного поліпшення екологічної результативності організацій [2]. Сучасна модель EMAS доступна організаціям різного розміру та всіх секторів економічної діяльності – як приватного, так і публічного сектору. Її застосування передбачає ідентифікацію прямих і непрямих екологічних аспектів, установлення цілей щодо зменшення негативного впливу, функціонування системи екологічного менеджменту, систематичне оцінювання її результативності, залучення працівників, незалежну верифікацію та оприлюднення екологічної декларації [2].

Принциповою характеристикою EMAS є орієнтація не лише на функціонування системи менеджменту, а й на постійне поліпшення екологічної результативності організації, яке підлягає перевірці. Екологічна звітність при цьому ґрунтується на кількісній інформації щодо використання ресурсів, енергії, води, матеріалів, утворення відходів та викидів, а результати екологічних аудитів і виконання програм екологічного менеджменту мають відображати зміни результативності в часі [3]. Це перетворює екологічну інформацію з елементу формальної звітності на інформаційну основу прийняття управлінських рішень.

Взаємозв’язок EMAS та екоінновацій доцільно розглядати через механізм безперервного вдосконалення. Система послідовно пов’язує формування екологічної політики, оцінювання вихідного стану, ідентифікацію характеристик діяльності, які потребують поліпшення, установлення цілей, розроблення програм їх досягнення та екологічний аудит [1]. Таким чином, виявлений екологічний аспект трансформується у конкретну управлінську проблему, кількісно визначену ціль та потребу в пошуку відповідного технологічного, продуктового або організаційного рішення.

Важливим чинником такого процесу є залучення персоналу. Європейська Комісія зазначає, що участь працівників у функціонуванні EMAS дозволяє використовувати їхні знання про виробничі процеси для ідентифікації можливостей удосконалення та пошуку економічно доцільних рішень; в окремих випадках такі рішення безпосередньо приводять до екоінновацій, що забезпечують економію ресурсів і коштів [2].

На цій основі EMAS пропонується розглядати як інституціоналізований управлінський цикл підтримки екоінновацій, у межах якого екологічні аспекти діяльності ідентифікуються та кількісно оцінюються, трансформуються в екологічні цілі, формуючи передумови для пошуку технологічних і організаційних рішень, тоді як результати їх упровадження підлягають оцінюванню, аудиту, незалежній верифікації та публічному розкриттю. У формалізованому вигляді запропонований

механізм можна представити таким чином, у межах запропонованого підходу управлінський цикл EMAS розпочинається з ідентифікації та оцінювання значущих екологічних аспектів діяльності підприємства, на основі яких визначаються конкретні екологічні цілі. Необхідність їх досягнення формує передумови для пошуку та впровадження нових технологічних, процесних або організаційних рішень, що можуть набувати характеру екоінновацій. Після їх реалізації здійснюється оцінювання змін екологічної результативності, результати якого перевіряються у процесі екологічного аудиту та незалежної верифікації й відображаються в екологічній звітності організації. Отримана інформація, своєю чергою, використовується для перегляду екологічних цілей і визначення нових напрямів удосконалення, забезпечуючи циклічність та безперервність процесу екологічного управління й створюючи організаційні передумови для подальшого впровадження екоінновацій.

Такий підхід узгоджується з концепцією CapSEM, відповідно до якої система екологічного менеджменту організаційного рівня інтегрує інформацію про процеси та продукцію, а оцінювання екологічної результативності може доповнюватися інструментами життєвого циклу – LCA, EPD та відповідними індикаторами [3]. Отже, управлінська функція EMAS щодо екоінновацій полягає не стільки в безпосередньому створенні нової технології, скільки у формуванні організаційних умов, за яких пошук, відбір, реалізація та оцінювання екологічно орієнтованих рішень набувають систематичного характеру.

Перспективи застосування EMAS для екоінноваційної трансформації українських підприємств набувають особливого значення в контексті адаптації європейських практик екологічного управління. У вітчизняних дослідженнях EMAS розглядається як один із інструментів європейської моделі, що забезпечує використання екологічних індикаторів, прозорість звітності та постійне вдосконалення екологічної результативності [4]. Водночас застосування EMAS не обмежується територією Європейського Союзу. Механізм EMAS Global дозволяє організаціям, розташованим у третіх країнах, долучатися до схеми через компетентний орган держави – члена ЄС, який здійснює таку реєстрацію [2]. Для українських підприємств використання принципів EMAS може розглядатися як напрям переходу від переважно реактивного природоохоронного управління до проактивної моделі, заснованої на вимірюванні екологічної результативності, прозорості, залученні працівників та безперервному вдосконаленні. Водночас значення EMAS для екоінновацій полягає не в автоматичному виникненні інновацій унаслідок реєстрації організації, а у створенні стійкого управлінського середовища для їх генерування та впровадження. У цьому контексті адаптація відповідних підходів українськими підприємствами може сприяти поєднанню екологічної модернізації, ресурсоефективності та інтеграції до європейських практик екологічного управління.

Отже, EMAS доцільно розглядати як інструмент забезпечення екологічної відповідності та звітності, та як організаційно-управлінську модель, здатну формувати передумови для системного впровадження екоінновацій. Циклічність управління, кількісне оцінювання екологічної результативності, аудит, незалежна верифікація, прозорість та залучення працівників забезпечують механізм зворотного зв’язку, за якого результати реалізованих рішень стають інформаційною основою для наступного циклу екологічного вдосконалення.

Список літератури:

1. Берзіна, С. В. Системи екологічного управління: Довідниковий посібник з впровадження міжнародних стандартів серії ISO 14000. Aiva Plus Ltd. 2009
2. European Commission. (n.d.). Eco-Management and Audit Scheme (EMAS). Green Forum. https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/emas_en
3. Fet, A. M. (Ed.). Business transitions: A path to sustainability: The CapSEM model. Springer. 2023 https://doi.org/10.1007/978-3-031-22245-0
4. Рибіна, О. І., Криклій, О. А. Практика впровадження індикаторних систем сталого розвитку земель: Досвід ЄС та Канади. 2025 European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation, 2(16). https://doi.org/10.32750/2025-0215

ШУТЯК С.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ПРОБЛЕМИ ДОТРИМАННЯ КАРПАТСЬКОЇ КОНВЕНЦІЇ: ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗВІТНОСТІ ТА КОМПЛАЄНСУ

Національний лісотехнічний університет України
sofiya.shutyak@nltu.edu.ua

Abstract. The paper examines the current ad hoc approach to dealing with information on possible breaches of the Carpathian Convention. It argues that the Aarhus Convention does not provide a substitute for a dedicated compliance mechanism under the Carpathian Convention, as its mandate is limited to procedural rights. The paper proposes the development of a structured compliance mechanism and explores funding avenues for its preparation.

Структурований підхід до обробки інформації про можливі порушення положень Карпатської конвенції є нагальною потребою для забезпечення ефективного виконання цього міжнародного договору. Нинішня тимчасова система, хоч і забезпечує певну гнучкість (підготовка звітів та самоаналіз), позбавлена прозорості та послідовності, які міг би забезпечити формальний механізм.

Аргумент окремих Договірних Сторін про те, що Оргуська конвенція нібито робить окремий механізм дотримання Карпатської конвенції непотрібним, є юридично неспроможним. Комітет з питань дотримання Оргуської конвенції має чітко обмежений мандат, зосереджений на процедурних правах — доступі до інформації, участі громадськості та доступі до правосуддя. Він не уповноважений оцінювати порушення матеріальних положень інших міжнародних договорів, таких як Карпатська конвенція. Хоча непрямі перетини можливі, коли процедурні права порушуються, це не замінює спеціального механізму дотримання в рамках самої Карпатської конвенції.

Механізм дотримання в рамках Карпатської конвенції не дублюватиме Оргуську конвенцію, а радше заповнить прогалину, для якої вона ніколи не призначалася. Це розмежування має бути чітко донесене під час обговорень із Договірними Сторонами.

Одним із практичних кроків для просування цього порядку денного є забезпечення фінансування для цілеспрямованих досліджень та підготовки проєкту механізму дотримання. Потенційними джерелами фінансування можуть бути: двосторонні та багатосторонні донори, зокрема інституції ЄС; фонди та філантропічні організації у сфері екологічної справедливості та міжнародного екологічного права; існуючі програми в рамках Карпатської конвенції або суміжних структур; академічні та юридичні дослідницькі установи, залучені до порівняльного правового аналізу.

Фінансований процес дослідження та підготовки проєкту мав би кілька переваг: забезпечив би юридично виважений проєкт, який Сторони могли б розглянути без передчасних зобов'язань; продемонстрував би серйозність і готовність з боку Спостерігачів; допоміг би вирівняти умови, запропонувавши конкретну альтернативу статус-кво; створив би імпульс для подальших обговорень на майбутніх КС або міжсесійних зустрічах.

Ключовими елементами такого проєкту механізму дотримання мають бути: чіткий мандат для розгляду питань недотримання матеріальних і процедурних зобов'язань; механізми ініціювання, що дозволяють подання від Договірних Сторін, передачу питань КС або Секретаріатом, а також звернення від Спостерігачів, НУО або постраждалих громад; невеликий незалежний експертний орган з мандатом розглядати конкретні випадки та рекомендувати заходи КС; процедурні гарантії прозорості та права на відповідь; набір можливих заходів — від сприяючих до формальних заяв про недотримання; чітке визнання того, що механізм доповнює, а не дублює рамку Оргуської конвенції.

Підготовка такого проєкту із залученням юридичних експертів і порівняльного досвіду інших багатосторонніх екологічних угод дала б Спостерігачам і зацікавленим Договірним Сторонам конкретну відправну точку для переговорів.

У зв’язку з цим, ініціатива Платформа «Відбудуй Україну краще» (BUBB) Європейсько-українська платформа громадянського суспільства для сталого та стійкого відновлення України запускає ініціативу з об’єднання фахівців, які готові доєднатися до робити над пошуком дієвих механізмів аналізу дотримання стану дотримання положень протоколів Карпатської конвенції України. Усі хто зацікавлений може звернутися на пошту автора цих тез.

Щороку 26 вересня у країнах Карпатського регіону відзначають День Карпат, який започаткували у жовтні 2023 року рішенням Сьомої Конференції Сторін Карпатської конвенції. Відтоді цей день покликаний привертати увагу до спільної природної та культурної спадщини Карпат, її збереження та сталого розвитку регіону.

Цьогоріч його тема — **«Карпатський пасторалізм: де зустрічаються природа і культура»**. Йдеться про зв’язок традиційного господарювання з благополуччям гірських екосистем, культурою та життям місцевих громад.

Пасторалізм — це одночасно система утримання худоби й спосіб життя, що спирається на випас, мобільність, місцеві знання та доступ до землі й води. У Карпатах він упродовж століть формував природний та

культурний ландшафт усього регіону, підтримуючи біорізноманіття гірських луків, стан ґрунтів і водних ресурсів, а також зберігаючи місцеві знання, традиції, продукти та зв'язки всередині громад.

Напередодні цих днів відбувся за слова української влади - установчий Саміт нової регіональної ініціативи, що об'єднає вісім країн Карпатського регіону, інституції ЄС, міжнародних партнерів, громади, бізнес та інвесторів (CARPATHIAN 8 SUMMIT). C8 SUMMIT має перетворити спільну географію на спільний простір безпеки, економічного розвитку, інвестицій і транскордонної співпраці — від політичного діалогу до конкретних проєктів. Проте, реакції офіційних сторін деяких країн свідчить про те, що з ними така ініціатива не проговорювалася і вони своєї згоди на участь не надавали. Аналогічно, як не прозвучала необхідність врахування особливого статуту Карпат як чутливої екосистеми та дотримання прописаних вже на рівні протоколів конвенції умов прийняття спільних рішень та дій щодо розвитку цього регіону.

Вважаємо, що маючи в Інститут екології Карпат НААУ, Карпатський біосферний заповідник, а також велику кількість громадських організації, що спеціалізуються на вивченні, збереженні та розвитку Карпат (ГО Форза, ГО Екосфера, ГО Рахів-екотур та інші) — вважаю за доцільне наголосити на важливості ініціювання великої кількості дискусій, які допоможуть сформувати Україні гідну позицію на міжнародній арені та досягнути гарних ресурсів під час керування розвитком Карпатської конвенції.

Зі свого боку Національний лісотехнічний університет України докладе усіх зусиль для того, щоб Карпатська конвенція та її протоколи були предметом наукового вивчення серед студентів та викладачів, а за результатами опрацювань — буде видано ряд публікацій.

Список літератури:

1. Шутяк, С. В. Повноваження місцевих рад щодо розпорядження землею та їх реалізація, Глобальний світ: виклики сьогодення: кол. моногр. Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2025. 189 с.
2. Шутяк, С. Правові основи екологічної безпеки: термінологічні неузгодженості. Національна асоціація адвокатів України. 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://unba.org.ua/publications/8587- pravovi-osnovi-ekologichnoi-bezpeki-terminologichni-neuzgodzhenosti.html (дата звернення 29.09.2023).
3. Шутяк, С. В. Аналіз виконання Україною Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат в рамках проєкту «Підтримка природно-заповідних територій України», що фінансується KfW (кредитна установа для відбудови). Київ : Комітет НААУ з питань аграрного, земельного та довкілевого права, 2024. URL: https:// www.calameo.com/books/007661571f8a9eed5580a (дата звернення: 09.04.2026).
4. Березовський, П. П., Шутяк, С. В., Ященко, Г. А., Костюніна, Ю. О., & Березовська, Н. І. (2024). Аналіз стану державного регулювання у сфері охорони навколишнього природного середовища за різними напрямами, здійснений в межах підготовки національної доповіді про стан навколишнього середовища в Україні у 2023 році. Ефективність державного управління, 1(78/79), 39–45. https://doi.org/10.36930/507806
5. Shutiak, S. (2026). Local government and regional state administrations powers in creating the environment for a circular economy. Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects. https://doi.org/10.36930/conf_ICBSDW_26
6. Vasyl Karabyn, Vladyslav Shuryhin, Sofia Shutiak, Marek Chmiel, Rastislav Kulhánek, Strategic environmental assessment - underestimated tool for sustainable subsoil use (2022; Volume 7, Number 3: pp. 140-146 https://doi.org/10.23939/ep2022.03.140
7. Shutiak, S. (2022). Civil safety and environmental safety – indicators of guaranteeing the right to an environment safe for life and health. International Conference «Environmental Security Strategy of Ukraine: Socio-Economic and Legal Dimension». Lviv, Ukraine: LPNU
8. Шутяк, С. В. Повноваження місцевих рад щодо розпорядження землею та їх реалізація, Глобальний світ: виклики сьогодення: кол. моногр. Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2025. 189 с.
9. Шутяк, С. Правові основи екологічної безпеки: термінологічні неузгодженості. Національна асоціація адвокатів України. 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://unba.org.ua/publications/8587- pravovi-osnovi-ekologichnoi-bezpeki-terminologichni-neuzgodzhenosti.html (дата звернення 29.09.2023).
10. Сушинський, О. І., Калашник, Н. С., & Березовська, Н. І. (2023). Відповідальність публічних службовців перед суспільством в умовах війни: правовий та моральний контекст. Ефективність державного управління, 1(74/75), 10–15. https://doi.org/10.36930/507401

КОРОЛЬЧУК Л.В. (УКРАЇНА, ЛУЦЬК)

ЕКОІННОВАЦІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСКОРДОННИХ РЕГІОНІВ

Луцький національний технічний університет
43018, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна; info@lntu.edu.ua

Abstract. The role of eco-innovation as an instrument of economic greening and sustainable development of cross-border regions is substantiated, and the main economic and managerial mechanisms of its development and implementation are identified. The proposed approach is applied to the Bug Euroregion to analyse the relationship between economic development and environmental pressure based on the decoupling concept.

Сучасні трансформаційні процеси зумовлюють необхідність переходу до моделей розвитку, у яких економічне зростання поєднується із соціальними потребами та екологічними обмеженнями. Концепція сталого розвитку передбачає інтеграцію економічного, соціального та екологічного вимірів розвитку, однак практична реалізація цих принципів значною мірою залежить від територіальних та інституційних умов їх упровадження. В центрі уваги пребуває регіональний вимір, оскільки саме на територіальному рівні концентрується взаємодія економічної діяльності, природного середовища, інновацій, людського капіталу та інституцій. Для транскордонних регіонів ця проблема ускладнюється тим, що економічні, соціальні та природні процеси виходять за межі національних кордонів, а результати розвитку однієї території можуть безпосередньо впливати на суміжну територію іншої держави.

Метою дослідження є визначення ролі екоінновацій в екологізації економіки та сталому розвитку транскордонних регіонів, систематизація механізмів їх реалізації та оцінювання взаємозв'язку економічної динаміки й екологічного навантаження.Теоретичною основою дослідження стали сучасні концепції сталого розвитку, його територіалізації та локалізації Цілей сталого розвитку, а також наукові підходи до дослідження транскордонних територій та екоінновацій (Gómez-Jaramillo et al., 2024; Shubalyi & Miszczuk, 2022; Jakubowski & Seidlová, 2022).

У результаті дослідження сталий розвиток транскордонних регіонів розглянуто як довгостроковий процес трансформації взаємопов'язаних соціо-еколого-економічних систем, у межах якого економічні, соціальні та екологічні цілі узгоджуються з територіальними особливостями, інституційними умовами та характером взаємодії територій по обидва боки державного кордону. На цій основі систематизовано основні концептуальні підходи до розуміння сталого розвитку за такими аналітичними вимірами, як міжпоколінний, інтегрований, системний, територіальний, транскордонний та адаптаційно-трансформаційний. Така систематизація дала змогу обґрунтувати, що транскордонний вимір сталого розвитку не зводиться до механічної локалізації загальних принципів сталості, а передбачає врахування просторової взаємозалежності територій, спільних ресурсів, транскордонних екологічних ефектів та необхідності координації розвитку суміжних регіонів.

Відповідно, екологізація економіки транскордонних регіонів визначається як комплексна трансформація способів виробництва, споживання, використання ресурсів та управління, яка має враховувати не лише внутрішні потреби окремих територій, а й екологічну та економічну взаємозалежність суміжних регіонів. У цьому контексті особливого значення набувають екоінновації, оскільки вони забезпечують оновлення технологій, продукції, процесів, послуг та організаційних практик у напрямі підвищення ресурсоефективності та зменшення негативного впливу на довкілля. Для транскордонних територій їх значення полягає також у можливості передачі, адаптації та поширення екологічно орієнтованих знань і рішень між сусідніми регіонами. Таким чином, екоінновації розглядаються не лише як результат діяльності окремого суб'єкта, а як елемент транскордонної екоінноваційної взаємодії, що поєднує локальні ресурси з міжрегіональними знаннями, технологіями та мережами співпраці (Fabrizi et al., 2025).

Окремим результатом дослідження стала багатовимірна систематизація екоінновацій, сформована на основі різних класифікаційних критеріїв, що застосовуються у науковій літературі. До неї включено технологічні, ресурсоефективні, низьковуглецеві, циркулярні, цифрові, організаційні, системні та результативні характеристики екоінновацій. Принциповим є те, що зазначені групи не розглядаються як взаємовиключні елементи єдиної лінійної класифікації: одна екоінновація може одночасно характеризуватися за кількома ознаками залежно від характеру інноваційної зміни, способу

використання ресурсів, масштабу трансформації та отриманого екологічного результату. При цьому транскордонний вимір визначено не як окремий тип екоінновацій, а як просторовий контекст їх створення, передачі, адаптації та поширення.

На основі систематизації екоінновацій запропоновано розглядати їх розвиток у транскордонному регіоні через систему економіко-управлінських механізмів, які визначають умови створення, впровадження, передачі та поширення екологічно орієнтованих інновацій. З урахуванням специфіки транскордонної взаємодії виокремлено фінансово-економічний, інвестиційно-технологічний, інституційно-координаційний, знаннєво-компетентнісний, інформаційно-цифровий, екосистемно-управлінський та механізм трансферу і поширення екоінновацій. Така диференціація ґрунтується не на типології самих інновацій, а на функціях, необхідних для забезпечення їх транскордонної реалізації (Fabrizi et al., 2025).

Практичним проявом зазначених механізмів є реалізація транскордонних проєктів, спрямованих на модернізацію екологічної інфраструктури, ресурсоефективність, управління водними ресурсами, поводження з відходами, екологічний моніторинг та обмін знаннями. Зокрема, проєкти SafeSewerage, PACT, WATER, CleanBug та CrossEco демонструють різні форми мобілізації фінансових, технологічних, інформаційних та інституційних ресурсів у польсько-українському транскордонному просторі. Водночас наявність таких проєктів характеризує передусім процес формування передумов для екоінноваційної трансформації, а не її кінцевий екологічний результат.

Для визначення результативності такої трансформації застосовано концепцію декаплінгу, яка дає змогу оцінити зміну співвідношення між економічною динамікою та екологічним навантаженням. Відповідно до методики OECD, декаплінг визначається через співвідношення темпів зміни економічного рушія та показника екологічного тиску. У дослідженні економічний рушій представлено реальним ВРП, а екологічний тиск – обсягами викидів CO_2 від стаціонарних джерел. Для емпіричної апробації методики обрано Єврорегіон Буг, представлений Люблінським воєводством Республіки Польща та Волинською областю України. Розрахунки охоплюють 2005–2022 рр.; для визначення темпу зміни за 2005 р. використано 2004 р. як базовий.

Результати засвідчили виражену часову та територіальну варіативність типів декаплінгу. У Люблінському воєводстві переважали випадки абсолютного декаплінгу, коли зростання економічної активності супроводжувалося скороченням викидів CO_2. У Волинській області структура результатів була менш стабільною та включала абсолютний і відносний декаплінг, відсутність декаплінгу, а в окремі роки – скорочення економічної активності. Отже, екоінноваційна трансформація транскордонного регіону не може характеризуватися як однорідний або лінійний процес.

Водночас отримані результати не дають підстав трактувати декаплінг як прямий ефект екоінновацій або транскордонного співробітництва. Зміни співвідношення між ВРП та викидами CO_2 можуть визначатися структурними трансформаціями економіки, технологічними змінами, змінами енергоспоживання, політикою регулювання та іншими чинниками. Тому декаплінг у запропонованому підході виконує функцію результативного індикатора екологічної трансформації, тоді як механізми транскордонної взаємодії характеризують умови її формування.

Таким чином, запропонована методична схема поєднує механізми забезпечення екоінноваційного розвитку та індикатор його макрорівневого результату: економіко-управлінські механізми – екоінноваційна діяльність – технологічні, ресурсні та організаційні зміни – зміна екологічного навантаження – декаплінг. Такий підхід дає змогу перейти від характеристики окремих транскордонних ініціатив до комплексного аналізу взаємозв'язку між інституційними умовами екоінноваційного розвитку та фактичною динамікою економічного й екологічного показників.

Список літератури:

1. Fabrizi A., Fiorelli C., Meliciani V. The role of green networks for environmental innovation in European regions. *Journal of Industrial and Business Economics*. 2025. Vol. 52. P. 935–966. DOI: https://doi.org/10.1007/s40812-024-00339-8.
2. Gomez-Jaramillo Y., Berrouet L., Villegas-Palacio C., Berrio-Giraldo L. Conceptual framework for analyzing the sustainability of socio-ecological systems with a focus on ecosystem services that support water security. *Sustainable Development*. 2024. Vol. 32, No. 3. P. 2298–2313. DOI: https://doi.org/10.1002/sd.2780.
3. Jakubowski A., Seidlová A. UNESCO Transboundary Biosphere Reserves as laboratories of cross-border cooperation for sustainable development of border areas: The case of the Polish-Ukrainian borderland. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*. 2022. No. 57. P. 125–139. DOI: https://doi.org/10.12775/bgss-2022-0027.
4. Shubalyi O., Miszczuk A. Evaluation of the financial support for the implementation of the 2030 Sustainable Development Goals in the border regions of Poland and Ukraine. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*. 2022. Vol. 67, No. 6. P. 1–28. DOI: https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.8816.

Семінар 5 **Seminar 5**

ЖИВКО З.Б.[1], СТАДНИК М.Є.[2] (УКРАЇНА, КРОПИВНИЦЬКИЙ, ЛЬВІВ)

ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЕКОІННОВАЦІЙ У СИСТЕМІ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

[1] Українська державна льотна академія
25005, вул. С. Чобану, 1, Кропивницький, Україна; office@sfa.org.ua
[2]Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького; 79000, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна; admin@lvet.edu.ua

Abstract. The importance of eco-innovations as a factor in simultaneously strengthening a country's economic and environmental security is substantiated. The author proposes a vision for an economic and managerial mechanism for their development, which combines the promotion of innovative activity, financial support, assessment of environmental and economic impacts, support for commercialization, and performance monitoring. The practical prerequisites for applying this approach in Ukraine are outlined.

Поглиблення екологічних обмежень господарської діяльності, зростання вартості енергетичних і матеріальних ресурсів та необхідність технологічного оновлення економіки змінюють підходи до оцінювання ролі інновацій. За таких умов екоінновації доцільно розглядати не лише як засіб зменшення негативного впливу на довкілля. Їх економічне значення полягає у здатності одночасно скорочувати ресурсні витрати, створювати нові продукти й послуги, формувати додану вартість та підвищувати стійкість підприємств до зовнішніх ризиків. Отже, екоінноваційна діяльність має розглядатися як складова економічної політики, а не виключно як напрям природоохоронного регулювання.

Для України ця проблема набуває особливої ваги у зв'язку з потребою відновлення виробничого потенціалу та модернізації економіки. Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики» пов'язує низьковуглецевий і сталий розвиток із забезпеченням екологічної, продовольчої та енергетичної безпеки держави [3]. Стратегічні документи у сфері екологічної безпеки також передбачають інтеграцію питань адаптації до зміни клімату та екологічних ризиків у різні сфери державної політики [2; 4]. Це означає, що технологічні рішення, здатні одночасно давати економічний результат і зменшувати екологічні ризики, набувають значення інструментів системного розвитку.

Водночас наявність інноваційної активності ще не означає достатньої спроможності економіки до екоінноваційної трансформації. Показовими є дані Львівської області. У 2024 р. інноваційно активними були 16,0% обстежених промислових підприємств, а обсяг реалізованої інноваційної продукції досяг 5409,1 млн грн. Частка такої продукції у загальному обсязі реалізації промислової продукції становила 2,3%. Водночас 78,6% реалізованої інноваційної продукції були новими лише для підприємства, тоді як продукція, нова для ринку, забезпечила 21,4% її загального обсягу [1]. Наведене співвідношення дає підстави звернути увагу не стільки на сам факт упровадження інновацій, скільки на здатність економіки перетворювати нові рішення на конкурентоспроможні продукти та масштабувати їх.

З огляду на це пропонується розглядати економіко-управлінське забезпечення розвитку екоінновацій як послідовний механізм із п'яти взаємопов'язаних блоків: стимулювання та генерування інноваційних рішень; ресурсно-фінансове забезпечення; відбір і оцінювання проєктів; упровадження та комерціалізація; моніторинг економічного й екологічного результату. Принциповою відмінністю такого підходу є перенесення акценту з підтримки окремої інноваційної розробки на супровід повного її життєвого циклу (рис. 1).

Перший блок має формувати середовище для виникнення екоінновацій. Його інструментами можуть бути грантові програми, конкурси інноваційних проєктів, розвиток співпраці між підприємствами, закладами вищої освіти та науковими установами, а також підтримка технологічних стартапів. Другий блок пов'язаний із мобілізацією фінансових ресурсів. Тут важливими є державне співфінансування, пільгове кредитування, гарантійні механізми, залучення приватного капіталу та використання можливостей державно-приватного партнерства.

На етапі відбору доцільно застосовувати інтегроване оцінювання екоінновацій. Економічна ефективність проєкту має доповнюватися показниками ресурсозбереження, енергоефективності, скорочення викидів і відходів, потенціалу масштабування та комерціалізації. Такий підхід дає змогу уникнути ситуації, коли технологія визнається інноваційною лише за критерієм новизни, хоча її практичне застосування не створює достатнього економічного або екологічного ефекту.

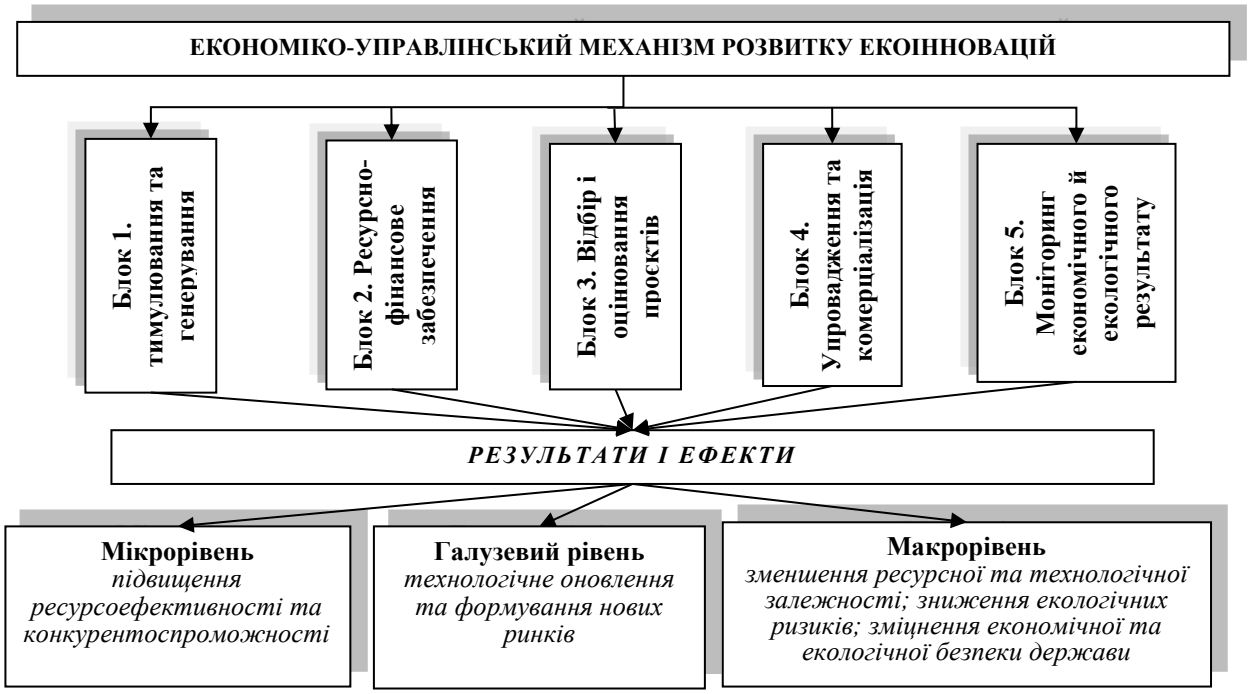


Рис. 1. Економіко-управлінський механізм розвитку екоінновацій
**сформовано авторським колективом*

Особливе місце в запропонованому механізмі посідає комерціалізація. Саме на цьому етапі екологічна перевага технології може трансформуватися в економічну перевагу підприємства: через скорочення собівартості, зменшення залежності від ресурсів, вихід на нові ринки або формування попиту на продукцію з меншим екологічним навантаженням. Тому державна політика підтримки екоінновацій має включати не тільки фінансування розроблення, а й інструменти маркетингового, консультаційного, технологічного та експортного супроводу.

Запропонований підхід дозволяє пов'язати мікрорівень діяльності підприємства з макрорівнем економічної та екологічної безпеки. На рівні підприємства результатом є підвищення ресурсоефективності та конкурентоспроможності; на галузевому рівні – технологічне оновлення й формування нових ринків; на рівні держави – зменшення ресурсної та технологічної залежності, зниження екологічних ризиків і підвищення стійкості економіки. Таким чином, екоінновації доцільно розглядати як сполучну ланку між політикою економічного розвитку та політикою екологічної безпеки.

Отже, результативність екоінноваційної політики визначається не кількістю підтриманих проєктів, а спроможністю управлінського механізму забезпечити їх перехід від ідеї до масштабованого економічного результату. Для України пріоритетним є формування системи, у якій фінансова, регуляторна, інноваційна та інформаційна підтримка працюватиме на єдину мету – технологічне оновлення економіки з одночасним зниженням екологічних ризиків. Саме таке поєднання економічних та екологічних цілей створює передумови для зміцнення безпеки держави та переходу до більш стійкої моделі розвитку.

Список літератури:

1. Інноваційна діяльність у Львівській області у 2024 році. Львів: Головне управління статистики у Львівській області, 2025. 2 с. URL: https://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/press/2025/r12_16.pdf.
2. Про затвердження операційного плану заходів з реалізації у 2025–2027 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2025 року № 96-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/96-2025-%D1%80
3. Про основні засади державної кліматичної політики: Закон України від 8 жовтня 2024 року № 3991-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-20
4. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 року № 1363-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80

АНДРУШКО А.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ТА ТЕРМІНІВ ОКУПНОСТІ МАСШТАБНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА РИНКУ ДОПОМІЖНИХ ПОСЛУГ ЕНЕРГЕТИКИ

Національний університет «Львівська політехніка»
79014, вул. Степана Бандери, 12,Львів, Україна; andrii.v.andrushko@lpnu.ua

Abstract. The paper presents a comprehensive technical, economic, and environmental justification for deploying large-scale energy storage systems (Smart BESS) in the Integrated Power System (IPS) of Ukraine amid a rapid deficit in frequency response capacity. The mathematical tools for power balancing that account for degradation in lithium-iron-phosphate (LFP) battery cells are analyzed. A comparative analysis of economic metrics for traditional energy storage units versus intelligent management systems is provided, confirming shorter investment project payback periods and a pronounced decarbonization effect on the power grid.

Масштабні системи накопичення енергії (BESS — Battery Energy Storage Systems) в Україні наразі є одним із найбільш перспективних і стратегічно важливих напрямків інвестицій у секторі енергетики, що забезпечують виражений декарбонізаційний та екологічний ефект завдяки системній реструктуризації балансуючих потужностей ОЕС України. Внаслідок значних руйнувань традиційної маневрової генерації та після повної синхронізації національної мережі з європейською системою ENTSO-E, вітчизняна енергосистема відчуває критичний дефіцит швидких резервів. Традиційно первинне та вторинне регулювання частоти покладається на теплову або газотурбінну генерацію. Інтеграція передової технології Cloud-Edge та алгоритмів передбачення Machine Learning дозволяє здійснювати точне моделювання дефіциту потужності наперед. Це забезпечує миттєве заміщення високовуглецевих джерел екологічно чистою накопиченою енергією без прямої емісії забруднюючих речовин в атмосферу. Крім того, хмарний моніторинг індикаторів деградації за методологією штучного інтелекту запобігає передчасному вичерпанню внутрішнього ресурсу літій-іонних комірок (зокрема типу LFP).

Оптимізація в хмарному середовищі зводиться до розв'язання задачі мінімізації витрат на деградацію та енергообмін за умови максимізації доходу від допоміжних послуг. Локальне рівняння миттєвого балансу потужності Smart BESS має вигляд,

$$P_{gen}(t) + P_{grid}(t) + P_{bat}^{dis}(t) = P_{load}(t) + P_{bat}^{ch}(t) + P_{loss}(t)$$

Де хмарна EMS розраховує оптимальні значення потужності заряду $P_{bat}^{ch}(t)$ та потужності розряду $P_{bat}^{dis}(t)$ на основі прогнозних моделей у реальному часі, враховуючи поточний стан мережі $P_{grid}(t)$, генерацію суміжних об'єктів ВДЕ $P_{gen}(t)$, локальне навантаження споживачівP_{load} та технологічні втрати в інверторах і трансформаторах $P_{loss}(t)$.

Таблиця 1

Порівняльний економічний ефект технологій

Параметр	Традиційна (BESS) (локальне керування)	Smart BESS (Cloud-Edge + ML моделювання)	Вплив на інвестиційний проект
Ефективність на ринку допоміжних послуг	Реагує за фактом відхилення (реактивна модель)	Прогнозно-адаптивна модель (готує ємність заздалегідь)	+10-15% до доходу від плати за готовність
Швидкість деградації акумуляторів	Високий ризик глибоких розрядів (стандартний графік)	Оптимізована через постійний ML-контроль SOC	Продовження ресурсу на 2-3 роки
Швидкість реакції на аварії	Обмежена передачею даних локальними датчиками	Паралельний потоковий аналіз та діагностика аномалій	Мінімізація збитків від аварійногопростою
Термін окупності	5,5-6,5 років	~4.2 – 4.8 років	Зниження інвестиційних ризиків

Зниження терміну окупності системи нижче 5 років переводить Smart BESS у категорію високоефективних і низькоризикових активів для енергетичного сектору України.

Список літератури:

1. Emrani A. et al. Adaptive energy management strategy for optimal integration of wind/PV system with hybrid gravity/battery energy storage using forecast models. Energy Conversion and Management: X, 2024 (1.1).
2. Kouihi M. et al. Comprehensive review of classical and AI-driven energy management strategies for hybrid renewable energy systems. *Next Energy*, 2025

БЕРНАЦЬКА Н.Л., ТИПІЛО І.В., ОЛІЙНИК Л.П., БЕРНАЦЬКИЙ О.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ECO CITY AI - AI-NATIVE ENVIRONMENTAL INTELLIGENCE PLATFORM ЯК ТЕХНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЕКОІННОВАЦІЙ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; nataliia.l.bernatska@lpnu.ua

Abstract. This paper presents Eco City AI as a concept for connecting environmental observations with decisions that people can verify. The proposed platform keeps the source and quality of data visible as observations move through analysis, forecasting, risk assessment and scenario comparison. An urban air-quality example shows how an expert could review the evidence before choosing an action. The architecture has not yet been validated in a deployed system. Future work should test its forecasts, usefulness to specialists and environmental outcomes separately.

Екологічні дані стають корисними тоді, коли за ними можна зрозуміти, що відбувається і яку дію варто розглянути. На практиці це непросто: вимірювання надходять із різних приладів, у різний час і з різною точністю. Якщо об'єднати їх без перевірки, навіть добра модель може підказати хибний висновок. Дослідження показують, що штучний інтелект допомагає аналізувати й прогнозувати стан довкілля, але якість даних та впровадження результатів залишаються складними питаннями [1, 2, 5, 6]. Тому ми зосереджуємося на тому, як пов'язати вимірювання з рішенням, а не лише на виборі алгоритму.

У цих тезах пропонуємо Eco City AI — концепцію AI-Native Environmental Intelligence Platform (AEIP). Її основна ідея проста: кожен висновок має вести до даних, на яких він ґрунтується. Ми визначаємо, які відомості потрібно передавати від сенсора до прогнозної моделі, а потім до фахівця, який ухвалює рішення. AI-native тут означає, що роботу з даними, моделі та перевірку результатів проєктують разом. Мовний інтерфейс може допомагати користувачеві, але сам по собі не робить систему інтелектуальною [8, 9]. Наразі йдеться про архітектурну пропозицію, а не про вже випробувану платформу.

Спочатку система збирає спостереження. Для кожного з них важливо знати, де й коли отримано значення, яким приладом його виміряли та в яких одиницях подали. Сенсори Інтернету речей дають часті оновлення, проте можуть втрачати зв'язок або поступово змінювати точність. Лабораторні проби, відкриті набори даних і потоки сенсорів також не завжди можна порівнювати безпосередньо. Тому Eco City AI зберігає разом із числом відомості про його походження та якість [3–5]. Це дозволяє фахівцеві побачити, де є вимірювання, а де — оцінка або заповнений пропуск.

Далі аналітичні модулі описують поточний стан, шукають незвичні зміни та прогнозують можливий розвиток ситуації. Прогноз завжди має стосуватися конкретного показника й періоду: наприклад, наступних кількох годин, а не невизначеного «майбутнього». Його слід порівнювати з простим базовим методом і перевіряти на даних, яких модель не бачила під час навчання. Середня похибка корисна, але вона може приховати пропущені короткі епізоди забруднення. Тому потрібна також перевірка попереджень про такі події [2, 6].

Прогноз і ризик відповідають на різні запитання. Перший описує можливе значення показника; другий стосується ймовірних наслідків для людей, території або екосистеми. Щоб говорити про ризик, потрібно знати, кого чи що оцінюють, як довго може тривати вплив і з яким критерієм порівнюють результат. Коли цих даних бракує, платформа має прямо сказати про межі висновку. Разом із рекомендацією вона передає фахівцеві джерела, результати перевірки даних, версію моделі та відомості про невизначеність.

Цифровий двійник допомагає порівняти можливі дії. Він показує базовий стан обраної території та сценарій, у якому змінено певну умову. Дослідження інтеграції AI, сенсорів і цифрових двійників свідчать про перспективність такого підходу для міського планування [7, 8]. Але наочна карта ще не доводить, що запропонований захід спрацює. Для оцінки його впливу потрібна модель, придатна саме до цього сценарію, і чітко записані припущення. Прогноз майбутнього стану та оцінку ефекту втручання слід показувати окремо.

Environmental AI Copilot може зробити платформу зручнішою для еколога. Фахівець ставить запитання звичайною мовою, а система знаходить потрібні спостереження, запускає дозволені розрахунки й пояснює результат. Можливості мовних моделей для таких завдань уже досліджуються [9, 10]. Водночас переконлива відповідь може містити помилку. Тому Copilot не повинен вигадувати

числа або приховувати невизначеність. У звіті потрібно бачити, звідки взято кожний важливий висновок. Остаточне рішення перевіряє та затверджує людина.

Припустімо, що кілька пунктів спостереження показали погіршення якості повітря в одному районі. Перш ніж повідомляти про загрозу, система перевіряє роботу приладів, погодні умови й сусідні вимірювання. Потім оцінює, чи може показник перевищити обраний критерій у визначений час. Якщо є придатна модель впливу, фахівець порівнює можливі заходи та їхні обмеження. Після вибору дії нові спостереження допомагають перевірити прогноз. Щоб з'ясувати, чи саме ця дія змінила стан повітря, потрібне окреме дослідження з належною базою порівняння.

Такий підхід може бути корисним для екоінновацій: дані та методи не доведеться щоразу збирати заново, а різні заходи можна буде порівнювати за однаковими правилами. Проте це поки що припущення, яке потрібно перевірити. Важливо з'ясувати, чи фахівці справді ухвалюють кращі й своєчасніші рішення та чи змінюються екологічні показники після впровадження заходу. До оцінки варто додати витрати на сенсори, обчислення й обслуговування. Цифровий інструмент для сталого розвитку теж має власний вплив на довкілля [4].

Отже, Eco City AI пропонує спосіб зберегти зв'язок між спостереженням, прогнозом, сценарієм і рішенням. Наступний крок — створити невеликий прототип для конкретної екологічної задачі. На ньому можна перевірити сумісність даних, точність прогнозів і зручність роботи фахівців. Вплив природоохоронного заходу на довкілля слід оцінювати окремо, за результатами польових спостережень. Так можна відрізнити працездатну програмну систему від рішення, яке справді дає екологічний результат.

Ключові слова: Environmental Intelligence, AI-native платформа, екоінновація, якість екологічних даних, цифровий двійник, екологічний ризик, підтримка рішень.

Список літератури:

1. Bibri S. E., Huang J. AI and AI-powered digital twins for smart, green, and zero-energy buildings... Environmental Science and Ecotechnology. 2025. Vol. 28. 100628. DOI: 10.1016/j.ese.2025.100628.
2. Application of artificial intelligence in air pollution monitoring and forecasting: A systematic review. Environmental Modelling & Software. 2025. Vol. 185. 106312. DOI: 10.1016/j.envsoft.2024.106312.
3. Environmental management using a digital twin. Environmental Science & Policy. 2025. Vol. 164. 104018. DOI: 10.1016/j.envsci.2025.104018.
4. United Nations Environment Programme. Artificial Intelligence (AI) end-to-end: The Environmental Impact of the Full AI Lifecycle Needs to be Comprehensively Assessed. UNEP, 2024. DOI: 10.59117/20.500.11822/46288.
5. Olawade D. B., Wada O. Z., Ige A. O., Egbewole B. I., Olojo A., Oladapo B. I. Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions. Hygiene and Environmental Health Advances. 2024. Vol. 12. 100114. DOI: 10.1016/j.heha.2024.100114.
6. Alotaibi E., Nassif N. Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis. Discover Artificial Intelligence. 2024. Vol. 4. Article 84. DOI: 10.1007/s44163-024-00198-1.
7. Bibri S. E., Huang J., Jagatheesaperumal S. K., Krogstie J. The synergistic interplay of artificial intelligence and digital twin in environmentally planning sustainable smart cities: A comprehensive systematic review. Environmental Science and Ecotechnology. 2024. Vol. 20. 100433. DOI: 10.1016/j.ese.2024.100433.
8. Bibri S. E., Huang J. Artificial intelligence of things for sustainable smart city brain and digital twin systems: Pioneering environmental synergies between real-time management and predictive planning. Environmental Science and Ecotechnology. 2025. Vol. 26. 100591. DOI: 10.1016/j.ese.2025.100591.
9. Nie Q., Liu T. Large language models: Tools for new environmental decision-making. Journal of Environmental Management. 2025. Vol. 375. 124373. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.124373.
10. Hong A., Choi D., Chung H., Kumar P., Lee J. Environmental and health monitoring in smart cities: A systematic review of trends, opportunities, and challenges. Sustainable Cities and Society. 2025. Vol. 130. 106491. DOI: 10.1016/j.scs.2025.106491.

СЕМІНАР 6

РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ В АСПЕКТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

СМИК І.Є. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

РОЛЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД У РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна; iryna.smyk@nung.edu.ua

Abstract. The role, powers, and practical instruments of territorial communities in developing ecological tourism in Ukraine are examined based on legislative provisions and official statistical data. Priority measures for balancing tourism revenues, local economic development, and the conservation of natural ecosystems are identified.

Екологічний туризм поєднує відвідування природних територій зі збереженням екосистем, екологічною освітою та підтримкою місцевої економіки. Актуальність дослідження зумовлена посиленням туристичного навантаження на природні території та необхідністю підвищення спроможності територіальних громад узгоджувати економічний розвиток туризму зі збереженням природних комплексів. Природною основою екологічного туризму є території та об'єкти природно-заповідного фонду. Станом на 1 січня 2025 р. їхня частка становила 6,91 % площі України [1]. Обмеженість природоохоронних територій та їхня чутливість до антропогенного впливу потребують регулювання кількості відвідувачів, сезонності туристичних потоків і допустимих видів рекреаційної діяльності.

Закон України «Про туризм» наділяє органи місцевого самоврядування повноваженнями щодо затвердження місцевих програм розвитку туризму, визначення джерел їх фінансування, сприяння туристичній діяльності та розвитку відповідної інфраструктури [2]. Практична реалізація цих повноважень передбачає облік природно-рекреаційних ресурсів, зонування територій, облаштування маршрутів, поводження з відходами та моніторинг природних об'єктів.

Економічне значення туристичної діяльності підтверджують надходження до місцевих бюджетів. За дев'ять місяців 2025 р. громади України отримали 234,4 млн грн туристичного збору, що на 36 % перевищило показник відповідного періоду 2024 р. Малий бізнес, включно із садибами та невеликими засобами розміщення, забезпечив 109,2 млн грн, або 47 % надходжень. В Івано-Франківській області було сплачено 32,5 млн грн туристичного збору, з яких 23,3 млн грн припадало на Поляницьку територіальну громаду [3]. Концентрація 71,7 % обласних надходжень в одній громаді свідчить про нерівномірність туристичного навантаження та потребу враховувати екологічну місткість найбільш відвідуваних територій.

Туристичний збір характеризує загальну туристичну активність, однак не відображає масштабів екологічного туризму та його впливу на природні комплекси. Тому оцінювання місцевої політики доцільно здійснювати за сукупністю економічних та екологічних показників: кількістю відвідувачів, обсягом туристичного збору, водоспоживанням, утворенням і переробленням відходів, станом ґрунтового та рослинного покриву на маршрутах. Зростання доходів за одночасного погіршення природних показників свідчить про екологічну незбалансованість туристичної моделі громади. Для вдосконалення управління пропонується запровадити місцевий індекс екологічної збалансованості туризму, який щорічно визначатиметься шляхом зіставлення туристичних надходжень із показниками навантаження на воду, систему поводження з відходами та природні території. Результати такого оцінювання доцільно оприлюднювати у звіті громади та використовувати для встановлення допустимого навантаження на маршрути, сезонного регулювання відвідувань і спрямування частини туристичного збору на відновлення природних об'єктів.

Отже, роль територіальних громад полягає в узгодженні туристичного використання територій із їхньою екологічною місткістю. Пріоритетними заходами мають стати зонування природних територій, моніторинг рекреаційного навантаження, спрямування частини доходів від туризму на природоохоронні заходи та підтримка місцевого бізнесу за умови дотримання екологічних вимог.

Список літератури:

1. Екодія. (2024, 28 серпня). *Чому Україні важливо створювати більше заповідних територій і як це можна зробити?* https://surli.cc/jsfxlc
2. Верховна Рада України. (1995, 15 вересня). *Про туризм: Закон України № 324/95-ВР*. https://surl.li/zoksdm
3. Державне агентство розвитку туризму України. (2025). *За літо місцеві бюджети отримали 91,7 млн грн туристичного збору*. https://surl.li/urdyex

ДОВГАЛЮК І.Г., КУЧЕРА Я.Й., ДЕРЖКО О.І. (УКРАЇНА, КАЛУШ)

ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ СТАЛОГО РОЗВИТКУ КАЛУСЬКОГО ПОСТГІРНИЧОГО РЕГІОНУ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ГЕОПАРКУ

Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії. Україна, 77304, м. Калуш, вул. Фабрична, 5а, kucherayaroslav@gmail.com.

Abstract. The paper outlines a sustainable development concept for the Kalush post-mining region. The calculated Post-Mining Sustainability Index (PMSI = 0.33) indicates a low sustainability level, necessitating comprehensive ecological stabilization. To restore the area, the creation of a geopark is proposed, integrating ecological rehabilitation, geotourism, and balneology. Another promising direction is the safe processing of mineralized waters from technogenic reservoirs into commercial products (e.g., salt, balneological goods), subject to proper preliminary assessment.

Калуський гірничо-промисловий район є характерним прикладом постгірничої території, на якій сформувалася складна природно-техногенна система з довготривалими наслідками видобування та перероблення калійних солей [1]. Після припинення основних виробничих процесів на території залишилися кар'єри, шахтні поля, хвостосховища, шламонакопичувачі, відвали та інші об'єкти, які продовжують впливати на стан довкілля.

Особливе значення мають Домбровський кар'єр, хвостосховища № 1 і № 2, шламонакопичувач, а також території шахт «Калуш», «Голинь» та «Ново-Голинь». Для цих об'єктів характерні процеси засолення поверхневих і підземних вод, фільтрації мінералізованих розчинів, карстово-суфозійні деформації, просідання земної поверхні та формування нових техногенних водойм.

Найбільш показовим об'єктом є Домбровський кар'єр, у якому сформувалася значна за об'ємом техногенна водойма з мінералізованими водами. Мінералізація води змінюється за глибиною, що свідчить про формування складної гідрохімічної структури водойми. Паралельно відбувається збільшення площі водного дзеркала та об'єму води. Подібні процеси створюють екологічні ризики, але водночас формують специфічний техногенний мінеральний ресурс, потенціал якого може бути використаний у системі сталого розвитку території.

Для комплексної оцінки стану постгірничої території застосовано індекс сталості PMSI/IPMS, який враховує чотири групи показників: екологічні, економічні, соціальні та управлінські. Загалом оцінювання проведено за 16 індикаторами. Для визначення вагових коефіцієнтів використано метод аналізу ієрархій (AHP), при цьому коефіцієнт узгодженості суджень становив CR = 0,044, що відповідає прийнятному рівню узгодженості [2].

За результатами розрахунків екологічний блок отримав вагу 0,35, економічний - 0,25, соціальний - 0,20, управлінський - 0,20. Нормовані значення відповідно становили 0,245; 0,275; 0,333 та 0,533. Підсумкове значення індексу PMSI становить 0,329, або приблизно 0,33. За прийнятою шкалою це відповідає низькому рівню сталості постгірничої території. Основними обмежувальними чинниками залишаються гідрогеологічна нестабільність, засолення вод, недостатній рівень рекультивації та необхідність удосконалення системи екологічного управління.

У зв'язку з цим запропоновано концепцію геопарку як інтегрованої моделі подальшого розвитку території. На відміну від традиційної рекультивації, яка передбачає переважно ізоляцію та консервацію техногенних об'єктів, геопарк може забезпечувати одночасне виконання природоохоронної, науково-освітньої, туристичної, рекреаційної та економічної функцій.

Важливою складовою запропонованої моделі є створення автоматизованої інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу. Вона повинна включати мережу гідрогеологічних, гідрохімічних і геодезичних датчиків, засоби дистанційного контролю, модуль оброблення та просторової візуалізації інформації, математичне моделювання і прогнозування, а також систему оперативного попередження про виникнення небезпечних процесів. Отримані дані мають використовуватися не лише для контролю стану водойм, а й для визначення безпечних зон та можливості їхнього подальшого господарського використання.

Одним із перспективних напрямів такого використання може бути часткова переробка техногенних мінералізованих вод у товарну продукцію. Запропонований підхід ґрунтується не на повному осушенні техногенних водойм, а на регульованому вилученні певної частини мінералізованого розчину з одночасним контролем рівня води, гідродинаміки та хімічного складу.

Технологічна схема може передбачати відбір мінералізованої води з найбільш концентрованих горизонтів, її попереднє очищення та підготовку, концентрування і подальше розділення цільових

компонентів. Залежно від фактичного складу розсолу потенційними продуктами можуть бути хлорид натрію, мінеральні концентрати, сіль для ванн та бальнеологічні засоби. Для частини потоків можливим є використання випарювальних технологій, зокрема сонячного або геліоаеробаричного випаровування, що дає змогу зменшити потребу в традиційних енергоресурсах.

Особливо перспективним є отримання продукції для рекреаційно-оздоровчого комплексу геопарку. Після підтвердження безпечності та відповідності нормативним вимогам мінералізовані води можуть розглядатися як сировина для приготування сольових концентратів, солі для ванн, мінеральних сумішей та інших продуктів бальнеологічного призначення. Такий підхід дозволяє поєднати екологічну реабілітацію з формуванням нової економічної функції постгірничої території.

Водночас використання техногенних вод для виробництва продукції не може здійснюватися без попереднього комплексного дослідження. Необхідно встановити стабільність хімічного складу, визначити вміст основних і супутніх компонентів, потенційно токсичних елементів та інших небажаних домішок. Для бальнеологічного використання додатково необхідні санітарно-гігієнічна, токсикологічна та медико-біологічна оцінка. Для виробництва харчової солі вимоги мають бути ще жорсткішими та включати підтвердження відповідності сировини і готового продукту встановленим нормативам.

Таким чином, доцільно розглядати диференційовану модель використання техногенних водойм, яка поєднує природоохоронне спостереження за однією частиною акваторії та безпечне, жорстко узгоджене з гідрогеологічними умовами вилучення мінералізованої води з іншої для отримання продукції. Такий підхід створює основу для комплексної економічної моделі геопарку, що акумулюватиме доходи від туризму, бальнеології, освітніх програм, продажу сировини та реалізації проєктів циркулярної економіки. Зрештою, залучення мінералізованої води як вторинного ресурсу дозволить перейти від виключно збиткової моделі «витрат на утримання та рекультивацію» до системи, у якій ці витрати частково компенсуються економічною діяльністю.Запропонований підхід відповідає принципам циркулярної економіки, оскільки передбачає повернення мінеральних компонентів, накопичених у техногенній системі, у господарський цикл. При цьому основним критерієм повинна залишатися екологічна безпека, а виробництво продукції має розглядатися як похідна функція від системи моніторингу та стабілізації території, а не як самоціль.

Перспективна структура геопарку може включати природоохоронні та науково-моніторингові зони, рекреаційно-туристичні території, об’єкти екологічної освіти, бальнеологічно-оздоровчі комплекси, демонстраційні технологічні майданчики та установки з перероблення мінералізованих вод. Це дозволить сформувати новий тип постгірничого простору, у якому техногенні об’єкти розглядаються не лише як джерело екологічної небезпеки, але й як потенційна частина природно-техногенної спадщини та ресурсної бази регіону.

Висновки

6. Калуський постгірничий регіон характеризується комплексом взаємопов’язаних екологічних, гідрогеологічних, геотехнічних та соціально-економічних проблем, що потребують інтегрованого управління.

7. Розрахунок PMSI/IPMS за 16 індикаторами дав значення 0,33, що свідчить про низький рівень сталості території та необхідність реалізації системних заходів з екологічної стабілізації, моніторингу й подальшого функціонального перетворення постгірничого простору.

8. Концепція геопарку може забезпечити інтеграцію екологічної реабілітації, моніторингу, геотуризму, рекреації, екологічної освіти та нових економічних функцій території.

9. Перспективним напрямом є часткове контрольоване вилучення мінералізованих вод техногенних водойм та їх перероблення у товарну продукцію, зокрема сіль, сіль для ванн, сольові концентрати та інші бальнеологічні засоби. Реалізація цього напряму можлива лише після підтвердження хімічної, санітарної та токсикологічної безпеки відповідної сировини.

10. Запропонована модель створює передумови для переходу Калуського постгірничого регіону від території накопичення техногенних ризиків до багатофункціонального геопарку, що поєднує екологічну безпеку, збереження техногенної спадщини, раціональне використання мінеральних ресурсів та розвиток рекреаційно-оздоровчої діяльності.

Список літератури:

1. Dovhaliuk, I., Kuchera, Y., Khatsevych, O., Kulyk, H., Burak, A., & Derzhko, O. (2026). Resource potential and impact on the environment of technological facilities of the Kalush industrial district. Chem. Chem. Technol., 20(2), 363–376. https://doi.org/10.23939/chcht20.02.

2. Chalgri, S. R., Memon, M. S., Siddiqui, F. I., & Shaikh, S. A. (2025). An Indicator-Based Framework for Sustainable Mining Using Fuzzy AHP. Earth, 6(2), 23. https://doi.org/10.3390/earth6020023.

Семінар 6 Seminar 6

ПАРАХНЕНКО В.Г. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

ІНВАЗИВНА ФЛОРА СЕЛИЩА СКАЛІВА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Уманський національний університет вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська область, 20300 e-mail: vladparachnenko@ukr.net

Abstract. Invasive plant species can change local vegetation and threaten native biodiversity. Their spread is often linked to disturbed habitats, agriculture, roads and changes in land use. This study examines the invasive flora of Skalivka, Kirovohrad region, using field observations to identify species and determine their occurrence and distribution. The results can support local biodiversity monitoring and help identify areas where measures to control invasive plants may be needed.

Проблема поширення чужорідних рослин набуває особливого значення на територіях, де природна рослинність поєднується з інтенсивним господарським використанням земель. У таких умовах постійно виникають нові ділянки з порушеним ґрунтовим покривом, змінюється структура рослинних угруповань, а природні бар'єри для розселення окремих видів послаблюються. Це створює сприятливі умови для проникнення та закріплення рослин, які не належать до місцевої флори.

Скаліва як населений пункт із поєднанням житлової забудови, сільськогосподарських угідь, транспортних комунікацій, присадибних територій та ділянок із менш інтенсивним використанням земель може становити інтерес для вивчення таких процесів. На невеликих територіях чужорідні рослини можуть бути представлені як поодинокими екземплярами, так і локальними угрупованнями. Виявлення їхнього фактичного поширення дає можливість оцінити сучасний стан флори та визначити території, де в майбутньому можливе збільшення площі зайнятих ними осередків.

Метою проведеного дослідження є характеристика чужорідної складової флори Скаліви, встановлення видів, що трапляються на її території, та визначення основних особливостей їх просторового розміщення. Окрему увагу доцільно приділити місцезростанням, які зазнали найбільшого антропогенного впливу.

Для отримання первинних даних найбільш придатним є маршрутне обстеження території. Під час його проведення доцільно охопити основні функціональні та природні типи ділянок: вулиці й узбіччя, присадибні території, сільськогосподарські землі, пустирі, території поблизу господарських споруд, необроблювані ділянки, а також фрагменти природної та напівприродної рослинності. Такий принцип вибору маршрутів дає змогу порівняти видовий склад рослин у різних умовах та виявити місця, де чужорідні види трапляються найчастіше.

Під час польової роботи для кожного виявленого виду необхідно фіксувати місце його зростання, характер рослинного угруповання, ступінь порушення території та орієнтовні розміри осередку. За можливості доцільно визначати кількість особин або їх приблизну рясність. Для видів, які формують суцільні зарості, більш інформативним показником може бути проективне покриття або площа зайнятої ділянки.

Важливе значення має також географічна прив'язка місць виявлення. Координати окремих локалітетів можуть бути використані для подальшого картографування. На основі таких матеріалів можна встановити, чи пов'язане поширення певних рослин із дорогами, сільськогосподарськими угіддями, забудовою, порушеними ґрунтами або іншими елементами територіальної структури населеного пункту. Подібний підхід дозволяє перейти від простого переліку видів до оцінювання особливостей їхнього просторового розподілу.

До рослин, які доцільно враховувати під час такого обстеження, належать амброзія полинолиста (Ambrosia artemisiifolia L.), клен ясенелистий (Acer negundo L.), робінія звичайна (Robinia pseudoacacia L.), айлант найвищий (Ailanthus altissima (Mill.) Swingle), золотарник канадський (Solidago canadensis L.) та інші чужорідні таксони. Наведений перелік не слід розглядати як підтверджений видовий склад Скаліви: остаточне віднесення рослин до фактичної флори населеного пункту має здійснюватися тільки після їх безпосереднього визначення у польових умовах.

Для оцінювання поширення окремих видів можна використовувати частоту їх трапляння. Вона характеризує, на якій частині обстежених ділянок було зафіксовано відповідний вид. Порівняння цього показника між видами дозволяє виділити рослини з обмеженим локальним поширенням та види, які представлені на значній кількості обстежених територій. Доповнення таких даних інформацією про чисельність, площу осередків і проективне покриття забезпечує більш повну характеристику їхнього сучасного стану.

Особливий інтерес становлять території, де рослинний покрив регулярно зазнає порушень. Це можуть бути узбіччя доріг, місця проведення земляних робіт, занедбані ділянки, території біля господарських будівель, пустирі та інші місця зі значною часткою відкритого ґрунту. На таких ділянках відбувається постійне переміщення ґрунту та рослинних решток, змінюється рослинний покрив і створюються вільні екологічні ніші. Саме тому вони потребують систематичного спостереження під час дослідження чужорідної флори.

Одним із видів, який заслуговує окремої уваги, є амброзія полинолиста (Ambrosia artemisiifolia L.). Її значення пов'язане не тільки з впливом на структуру рослинних угруповань, а й із санітарними ризиками для населення. Пилок цієї рослини може викликати алергічні реакції, тому встановлення місць її поширення має практичне значення. Виявлення невеликих осередків на ранніх етапах їх формування створює можливість своєчасного проведення відповідних заходів контролю.

Для повноцінної оцінки стану інвазивної флори одного польового обстеження недостатньо. Склад рослинності та площа окремих осередків можуть змінюватися залежно від погодних умов, характеру землекористування, проведення сільськогосподарських робіт та інших чинників. Тому доцільно здійснювати повторні обстеження за аналогічними маршрутами. Порівняння отриманих матеріалів у часовому аспекті дозволить виявляти нові локалітети, простежувати розширення або скорочення вже відомих осередків та встановлювати зміни у видовому складі.

Дослідження чужорідної флори Скаліви має значення як для характеристики сучасного стану рослинного покриву, так і для організації подальшого локального моніторингу. Поєднання маршрутних обстежень, видового визначення, кількісної оцінки поширення та географічної фіксації локалітетів дозволяє сформувати цілісне уявлення про розподіл інвазивних рослин у межах населеного пункту. Регулярне повторення таких досліджень забезпечить можливість своєчасно виявляти зміни у складі флори та контролювати формування нових осередків чужорідних видів.

Список літератури:

1. Парахненко В. Г. Просторова диференціація території Кіровоградської області за ознакою поширення інвазивної флори залізниць. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Географічні науки». 2022. № 17. С. 34–42.
2. Кондратюк С. Я., Мартиненко В. Г., Димитрова Л. В., Корнелюк Н. М. Ліхеноіндикація: посібник. Київ; Кіровоград: КОД, 2006. 260 с.
3. Мальцев В. І., Карпова Г. О., Зуб Л. М. Визначення якості води методами біоіндикації: науково-методичний посібник. Київ, 2011. 112 с.

КАЛИН Б.М., КРОПИВКА С.Й. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ В ЗОЛОЧІВСЬКОМУ РАЙОНІ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., 80381, Україна;
dana24b@ukr.net

Abstract. Sustainable tourism, based on the triad of ecological stability, social responsibility and economic efficiency, underpins the development of ecological tourism as one of Ukraine's "green economy" priorities. Zolochiv district (Lviv region) combines a unique castle cluster – the "Golden Horseshoe of Lviv region" (Zolochiv, Olesko, Pidhirtsi castles) - with substantial natural resources across seven communities, including forests (82,500 ha) and the National Nature Park "Pivnichne Podillya". Comparative-geographic analysis, a tourist survey (n = 120), recreational-capacity assessment and SWOT analysis were used to evaluate the district's readiness for ecological tourism development. The results reveal an uneven distribution of natural potential among communities, a differentiated recreational capacity of key sites, a strong dominance of castle-based over nature-based tourism, and an existing but underused demand for eco-responsible tourism. Recommendations at the district, community and nature-protection levels are proposed to turn the district's natural potential into a driver of sustainable tourism development.

Сталий туризм, що ґрунтується на тріаді екологічної стійкості, соціальної відповідальності та економічної ефективності, є теоретичним підґрунтям розвитку екологічного туризму – одного з пріоритетних напрямів «зеленої» економіки України. Згідно з аналізом інституційних джерел, вітчизняний сектор сільського зелено-туристичного бізнесу наразі нараховує понад пів тисячі зареєстрованих об'єктів (із вираженим превалюванням у Львівській та Івано-Франківській областях), при цьому щорічна позитивна динаміка зацікавленості споживачів у екоорієнтованих подорожах становить від 10% до 15%. Золочівський район Львівської області поєднує унікальний замковий кластер «Золота підкова Львівщини» (Золочівський, Олеський, Підгорецький замки) зі значним природно-рекреаційним потенціалом семи територіальних громад, зокрема лісовими масивами (82,5 тис. га) та об'єктами НПП «Північне Поділля», що створює передумови для розвитку екологічного туризму, проте потребує оцінки готовності території до такого розвитку на засадах сталості. Особливої актуальності дане питання набуває в контексті необхідності диверсифікації туристичного продукту Львівщини та зменшення надмірного антропогенного тиску на традиційні культурно-історичні локації.

Встановлено, що потенціал для розвитку екологічного туризму розподілений між громадами Золочівського району нерівномірно. Золочівська громада, що концентрує пасма Гологорів і Вороняків та більшість об'єктів природно-заповідного фонду (10,5% площі району), має найвищий природний потенціал; Буська громада поєднує природні території з музеєм-заповідником «Олеський замок», що відкриває перспективу продукту «замок + природа»; водночас Поморянська, Підкамінська та Красненська громади, попри мальовничі ландшафти та багату історико-культурну спадщину, залишаються практично не залученими до екотуристичного обігу, що обумовлено недостатньо розвиненою базовою інфраструктурою та слабкою промоцією локальних природних атракцій.

Сприятливою передумовою є екологічний стан природного середовища району: упродовж 2022–2025 рр. не зафіксовано жодного скиду забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти, що свідчить про високий рівень збереженості гідрологічних систем. Водночас детальний аналіз викидів забруднюючих речовин в атмосферу за цей період виявив неоднорідну динаміку: за майже незмінного сумарного обсягу викидів (+0,5%) вміст оксиду вуглецю скоротився на 21%, а діоксиду азоту – на 41%, тоді як викиди діоксиду сірки зросли на 72%, а метану – на 31%, що вказує на потребу диференційованого екологічного моніторингу за окремими забруднювачами, а не лише за сумарним показником для запобігання точковому погіршенню якості мікроклімату рекреаційних зон.

Розрахунок рекреаційної місткості ключових природних ділянок (табл. 1) виявив суттєву диференціацію: лісова зона Гологорів і рекреаційні водойми району характеризуються достатньою місткістю для нарощування екотуристичного навантаження, тоді як прибережна зона р. Золочівка та паркова зона біля Підгорецького замку є критично чутливими й потребують строгого обмеження одночасного перебування відвідувачів та регулювання туристичних потоків.

Результати анкетного опитування туристів (n = 120) засвідчили, що лише 12% респондентів практикують активний відпочинок на природі проти 74%, які відвідують виключно замки, а 61%

помітили ознаки антропогенного навантаження на природне середовище (стихійне засмічення, витоптування рослинності). Водночас 47% туристів, переважно молодь віком 18–35 років, висловили готовність сплачувати цільовий екологічний збір за умови його подальшого спрямування на впорядкування рекреаційних зон, облаштування сміттєзбірників та маркування маршрутів, що свідчить про наявний, хоча й нереалізований, попит на екологічно відповідальний туристичний продукт.

Таблиця 1

Розрахункова рекреаційна місткість (М) ключових природних об'єктів Золочівського району

Об'єкт / ділянка	Громада	М, осіб	Оцінка
Ландшафтний парк при Підгорецькому замку	Заболотцівська	153	обмежена
Прибережна зона р. Золочівка	Золочівська	18	критична
Лісова зона Гологорів	Золочівська	205	достатня
Пам'ятка природи «Свята Гора»	Золочівська	214	помірна
Парк при Поморянському замку	Поморянська	26	критична
Рекреаційні водойми району (15 об'єктів)	усі громади	583	достатня

Серед додаткових конкурентних переваг району – вигідне транспортне положення (64 км від Львова уздовж автошляхів міжнародного та національного значення) та наявність інституційної бази у вигляді стратегії розвитку туризму і щорічних програм промоції Золочівської громади. Водночас аварійний стан Поморянського замку та цілковита відсутність промоційних матеріалів у більшості громад поглиблюють інфраструктурний дисбаланс між центральними та периферійними рекреаційними вузлами.

Стратегічними можливостями є формування єдиного туристичного бренду «Золочівський район – земля замків і природи», залучення міжнародного донорського фінансування для реставрації занедбаних об'єктів, цифровізація туристичної інформації (QR-коди, аудіогіди, інтерактивні ГІС-карти екологічних стежок) та розвиток рибальського туризму на 15 рекреаційних водоймах району з дотриманням норм раціонального природокористування. Головними загрозами лишаються ризики воєнного стану, подальша деградація незаконсервованої культурної спадщини (передусім Поморянського замку) та демографічне виснаження малих громад, що обмежує кадровий ресурс для розвитку туристичної інфраструктури та локального зеленого підприємництва.

На основі здійсненого SWOT-аналізу запропоновано комплекс рекомендацій за трьома рівнями управління: районному – розроблення єдиної стратегії екологічно відповідального туризму та цифрової туристичної платформи з переспрямуванням потоків до менш завантажених природних територій периферійних громад; громадському – розвиток диференційованих екотуристичних продуктів (лісові пішохідні та велосипедні маршрути Гологорів для Золочівської громади, зелений туризм, пасічництво та агротуризм для Красненської та Підкамінської громад); природоохоронному – запровадження цільового екологічного збору, розбудова мережі маркованих екологічних стежок із підготовленими оглядовими майданчиками та впровадження еколого-освітніх програм для туристів і місцевого населення.

Упровадження запропонованих заходів сприятиме гармонізації охорони природних ресурсів району з економічними інтересами територіальних громад, диверсифікації джерел надходжень до місцевих бюджетів і зміцненню його конкурентоспроможності як дестинації екологічного туризму на регіональному та загальнодержавному рівнях.

Список літератури:

1. Брич, В., Галиш, Н. (2020). Сталий розвиток туристичної індустрії: екологічний та статистичний вимір. Економічний аналіз, 30(4), 23–30. https://doi.org/10.35774/econa2020.04.023
2. Ільницька-Гикавчук, Г. Я. (2024). Оцінка потенціалу замкового туризму Львівської області. У П. І. Лоцман (Ред.), Географія та туризм: Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (с. 510–519). ХНПУ ім. Г.С. Сковороди.
3. Паньків, Н., Єлісєєва, Т. (2024). Львівщина як перспективний регіон України для сталого розвитку туризму та рекреації. Development Service Industry Management, (2), 83–95. https://doi.org/10.31891/dsim-2024-6(13)
4. Соловій, І. П., Адамовський, О. М., Дубовіч, І. А. (2023). Сталий туризм: сучасний стан та перспективи розвитку в Україні. Економіка та суспільство, (50). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-79
5. Шуліка, Б. О., Сержантова, Ю. Ю., Денищенко, Л. В. (2023). Екотуризм: збалансований підхід до відвідування природних місць та його вплив на природні ресурси. Економіка та суспільство, (57). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-82

KICHURA D., SOBECHKO I. (UKRAINE, LVIV)

ECOTOURISM IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE WESTERN REGIONS OF UKRAINE

Lviv Polytechnic National University,
12, St. Banera str.,Lviv, Ukraine; e-mail dariia.b.kichura@lpnu.ua

Abstract. The development of the tourism and recreation sector as a component of the national economy stimulates employment and enhances the competitiveness of the country and its regions. The development of related industries − such as transport, trade, communications, construction, agriculture, and consumer goods manufacturing − depends significantly on the state of this sector. Consequently, the development of tourism and recreational services, serving as a key indicator of quality of life and human development, holds great economic and social significance for society.

Modern global tourism is a significant factor in the development of civilization. According to the World Travel & Tourism Council, tourism is characterized as the world's largest industry. Recreation, in turn, is a concept encompassing all forms of leisure, including health resort treatment and tourism. It should be noted that there is no consensus on the definition of "recreation" in either domestic or foreign scientific literature. Consequently, there is no unified view regarding the definition of key categories associated with recreational activity. On the one hand, a unified international terminological standard for the recreation sector has yet to be developed. On the other hand, Ukraine lacks a unified regulatory framework that clearly defines the fundamental concepts related to recreation [1−5].

The conceptual foundations of the sustainable development of the tourism and recreation sector and global experience regarding its organizational and economic support have been synthesized, and strategic priorities for the sustainable development of the tourism and recreation sector and recreation in Ukraine have been proposed. Ecotourism in the western regions of Ukraine represents a vital approach to integrating natural resource conservation, recreation, local community development, and cultural heritage preservation. It holds particular significance for the Carpathian region, where natural landscapes, forests, rivers, biodiversity, and traditional culture create substantial tourism potential.

1. Territorial Context. The western tourism region primarily encompasses the Lviv, Ivano-Frankivsk, Zakarpattia, Chernivtsi, Ternopil, Volyn, and Rivne regions. The Ukrainian Carpathians occupy a special place in this context. Numerous protected areas operate here, including the Carpathian National Nature Park, the Carpathian Biosphere Reserve, and the Skolivski Beskydy, Synevyr, Verkhovynskyi, Uzhanskyi, and Hutsulshchyna National Nature Parks, among others. The Ministry of Environmental Protection views sustainable tourism in the Carpathians as an initiative that should simultaneously benefit the local population and be grounded in the region's natural and cultural heritage.

2. Main forms of eco-tourism

* Nature-educational: nature trails; observing plants and animals; visiting nature reserves and national parks; nature photography.
* Active: hiking; mountain tourism; cycling routes; winter recreation activities.
* Rural and agrotourism: staying in rural guesthouses; experiencing traditional farming practices; local products; gastronomic routes.
* Ethno-cultural: Hutsul, Boyko, and Lemko cultures; folk crafts; traditional cuisine; historical and cultural landmarks. 3. Environmental component

Sustainable eco-tourism entails minimizing the negative impact of tourists on ecosystems. This is particularly important for mountainous areas, where natural complexes are vulnerable.

Key principles:

Nature conservation → managing tourist flows → eco-friendly infrastructure → responsible tourist behavior → restoration of natural resources. For example, the Carpathian National Nature Park boasts a well-developed network of eco-educational routes; in 2025, the Ministry of Environmental Protection reported 190 km of eco-educational trails within the park.

4. Economic aspect. Ecotourism can generate additional income sources for local communities through: rural guesthouses; local restaurants; production of traditional products; souvenir production; guide services; bicycle and outdoor gear rentals; transport services; organization of excursions and eco-trails. Thus, natural resources become the foundation for economic activity without the need for their exploitative depletion.

5. Social aspect. Ecotourism fosters: job creation; support for small businesses; rural development; preservation of traditions; promotion of local culture; increased environmental awareness among the population. The Carpathian Convention explicitly links sustainable tourism with benefits for the local population and the necessity of cross-border cooperation.

6. Key challenges for the western regions of Ukraine, the following issues are relevant:

Excessive tourism pressure → degradation of soil, vegetation cover, and hiking trails.

Waste → increased litter in popular recreational areas.

Transport pressure → noise, emissions, and soil compaction.

Development of natural areas → landscape fragmentation.

Tourism seasonality → uneven strain on infrastructure.

Insufficient environmental awareness among some visitors → violations of rules regarding conduct in protected natural areas. National nature parks are zoned to allow for a combination of nature conservation and tourism; economic activity is prohibited in the protected zone, and visitation is regulated by a special regime.

7. Directions for Sustainable Development

Table 1

Key areas of sustainable development and practical measures for their implementation

Direction	Practical Measures
Nature Conservation	Regulation of tourist flows
Waste Management	Waste sorting; reduction of single-use plastics
Transport	Hiking and cycling routes
Local Communities	Support for rural guesthouses and small businesses
Education	Environmental education trails and visitor centers
Gastronomy	Local and traditional products
Culture	Preservation of traditions and crafts

8. The Interconnection of the Three Pillars of Sustainable Development

ENVIRONMENTAL COMPONENT → biodiversity conservation, protection of water resources, landscape preservation.

ECONOMIC COMPONENT → community income, small business development, local employment.

SOCIAL COMPONENT → public well-being, cultural preservation, environmental education

Thus, ecotourism in the western regions of Ukraine can serve as a tool for sustainable development if the tourism-related use of natural areas is combined with their protection, the regulation of visitor impact, the participation of local communities, and the preservation of cultural heritage. The Ukrainian Carpathians possess significant natural and cultural potential for this, and modern nature conservation policy focuses, in particular, on implementing international standards for the management of protected areas. If required for educational materials, this topic could be presented as a large, colorful infographic poster titled "Ecotourism and Sustainable Development in Western Ukraine," featuring a map of the seven regions, the Carpathians, types of ecotourism, benefits, challenges, and the model: "Nature → Tourism → Community → Sustainable Development."

Ensuring the sustainable development of the tourism and recreation sector − as a dynamic form of trade in services and a highly profitable branch of the national economy − highlights the need to establish effective and rational interactions among all participants in the tourism and recreation services market. This requires a comprehensive approach and a systemic solution to developing alternative ways for businesses to gain competitive advantages through tourism and recreational activities.

References

1. Європейська хартія екологічно безпечного туризму на захищених територіях. European Charter for Sustainable Tourism in Protected Areas. URL: http://www.european-charter.org/home/.

2. Алієва А. Ю. (2020) Сучасні бізнес-моделі розвитку туристичнорекреаційної сфери в Україні. Український журнал прикладної економіки. 5 (1). 228–235.

3. Алієва А.Ю. (2020) Формування стратегічних пріоритетів сталого розвитку туристично-рекреаційної сфери на засадах інклюзивного зростання. Економічний форум. Луцьк: ЛНТУ. 3. 44–51.

4, Остафійчук Я. В. (2012). Місце сфери послуг у сучасній парадигмі сталого розвитку. Інвестиції: практика та досвід. 3. 30– 32.

5. Павліха Н. В., Цимбалюк І. О., Савчук А. Ю. (2022) Сталий розвиток туризму та рекреації: сучасні виклики й перспективи для України. Луцьк: Вежа-Друк. 211.

Семінар 6 Seminar 6

СЕМІНАР 7

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА В АСПЕКТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

KRYVOBOK O., KRYVOSHEIN O. (UKRAINE, KYIV)

SATELLITE MONITORING OF CONVECTIVE PHENOMENA FOR CIVIL SAFETY: RDT PRODUCT VALIDATION USING MSG AND GROUND-BASED NETWORK DATA

Ukrainian Hydrometeorological Institute
37, Nauki str., Kyiv, Ukraine; oleksii@w.uhmi.org.ua

Abstract. Operational detection and diagnosis of hazardous convective weather, including thunderstorms, squalls, hail, and heavy rainfall, are important for early warning and civil protection. As climate variability increases the frequency and intensity of severe storms, reliable satellite-based monitoring is becoming increasingly important for disaster risk reduction (DRR), infrastructure protection, and sustainable development. The Rapid Developing Thunderstorms (RDT-CW) product, developed by the NWC SAF consortium, provides automated detection, tracking, and nowcasting of convective clouds.

This study evaluates the performance of the Meteosat Second Generation (MSG)-based RDT product over Ukraine and nearby regions. The results are compared with data from a high-precision ground-based lightning detection network with a spatial resolution of 500 m and approximately 95% detection efficiency for cloud-to-ground (CG) and intra-cloud (IC) lightning. The analysis covers the period from January 2024 to July 2026 and considers as an individual lightning flash as well as lightning cells/clusters with different levels of severity based on flashes per minute. RDT performance was evaluated using a confusion matrix, including Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), and Critical Success Index (CSI), for lead times of up to 60 minutes. The spatial analysis showed an agreement between the RDT satellite masks and observed lightning clusters, with only small spatial differences. The results also showed clear seasonal variations in performance. For Ukraine, within a 60-minute forward window, the highest number of correctly detected lightning cells was observed in summer, with 16,505 True Positives, a FAR of 0.49, and a CSI of 0.09. Spring showed 4,331 True Positives, with a POD of 0.14 and a CSI of 0.11. Detection was much lower in autumn, while winter convective activity was very limited. Similar seasonal patterns were found for other Eastern European regions, including Romania, Poland, and Slovakia. The lead-time analysis between flashes and RDT showed that RDT provides the strongest predictive indication of lightning occuerance during summer. The POD reached approximately 0.40–0.44 within the 30–60 minute period after RDT detection, compared with about 0.25 in spring and autumn. To further assess the practical value of these results, four simulation approaches were developed using a regional dataset containing more than 10 million convective cell life-cycle events:

1. **Life-cycle simulations:** These described changes during convective initiation, with mean minimum brightness temperatures (BT_min) of about −57°C during triggering phases and values reaching approximately −63°C during mature convection.
2. **Alert-threshold simulations:** Low, Medium, and High alert levels were tested, with BT_min thresholds changing from −45°C to −46.5°C to improve warning triggers and reduce false alarms.
3. **Transboundary risk simulations:** These tracked the movement of storms across national borders and over both land and marine areas, including the Black Sea and Sea of Azov.
4. **Impact scenario simulations:** Mature convective storm vectors, with a mean BT_min of approximately −51.5°C, were overlaid with critical infrastructure and urban areas to examine potential impacts.

Overall, the statistical verification, seasonal analysis, lead-time assessment, and simulation results show that the RDT (MSG) product can provide useful information for operational meteorology and early warning. Its ability to identify developing convection and provide advance information on storm activity can support civil protection, aviation safety, infrastructure management, and disaster risk reduction in Ukraine and surrounding regions. The results also contribute to the broader objectives of Sustainable Development Goals (SDGs) 11 and 13.

РАДЧУК Д.І., ЖИР Є.С., ІКОННІКОВ М.Ю. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, пр. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна; rector@nmu.org.ua

Abstract. A state-based approach to describing the transition process of technological emergency development is proposed. The process is considered as a sequence of changes in a technical system from normal operation to an emergency condition. A model comprising normal, deviation, pre-accident, accident, and emergency phases is developed. The reversibility of early-stage transitions and the critical role of the pre-accident phase are analyzed. The approach enables risk assessment at different development stages and supports the selection of effective organizational and technical safety measures to prevent emergency escalation.

Надзвичайні ситуації техногенного походження завжди характеризуються певною зміною стану системи. При цьому системи переходить від режиму нормального функціонування до аварійного чи надзвичайного режимів. Однак, даний перехід відбувається не миттєво, а протягом певного проміжку часу, за якого відбувається зміна контрольованих параметрів, з'являються небезпечні фактори та поступово знижується рівня безпеки системи. Вивчення та керування перехідними процесами систем є важливим елементом запобігання аваріям.

Запропоновано розглядати розвиток техногенної надзвичайної ситуації як послідовність переходів між окремими станами системи:

$$S_0 \leftrightarrow S_1 \leftrightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4, \quad (1)$$

де S_0 – нормальний режим роботи системи; S_1 – виникнення відхилень параметрів від нормованих значень; S_2 – переаварійний стан системи; S_3 – стан аварійної ситуації; S_4 – стан надзвичайної ситуації.

Переходи між станами S_0, S_1 та S_2 є оборотними за умови своєчасного виявлення відхилень і реалізації відповідних заходів реагування (попереджувальні ремонти, планова заміна обладнання тощо). На стадіях S_1 та S_2 система зберігає працездатність і потенційно може бути повернена до нормального режиму функціонування, але досягнення режиму S_2 є точкою неповернення. Отже, ключовим завданням управління безпекою стає недопущення переходу системи зі стану S_2 у стан S_3.

При досягненні системою стану S_3 відбувається поява аварійної ситуації, за якої відхилення нормальних робочих параметрів сягають критичних значень, а тому й виникає потреба у застосування аварійних заходів захисту. Подальший розвиток аварійної ситуації S_3 потенційно може призводити до переходу в стан надзвичайної ситуації S_4. Можливими негативними наслідками стануть травмування або загибель працівників підприємства або цивільних, забруднення навколишнього середовища, а також призвести до матеріальних втрат.

Тривалість часу перебування систем в кожному зі станів та інтенсивність прискорення розвитку подій залежить від природи виникнення небезпечного процесу, поточного технічного стану обладнання, рівня автоматизації виробництва та ефективності функціонування систем контролю й захисту. Для багатьох техногенних об'єктів перехід від стану S_1 до S_3 може відбуватися протягом дуже короткого проміжку часу, що суттєво обмежує можливості оперативного реагування.

Керування станом перехідного процесу системи дозволяє прогнозувати подальший розвиток подій. При цьому аварія розглядається не як окрема подія, а саме результатом змін стану системи, що пов'язані між собою. Це створює передумови для кількісного оцінювання величини ризику на різних стадіях розвитку та формування аварійної небезпеки.

Список літератури:

1. Mohammadhasani, F., & Pirouzmand, A. (2021). Multi-state risk-based maintenance analysis of redundant safety systems using the Markov model and fault tree method. Frontiers in Energy Research, 9, Article 685634. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.685634.
2. Hou, K., Jia, H., Xu, X., Liu, Z., & Jiang, Y. (2016). A continuous time Markov chain based sequential analytical approach for composite power system reliability assessment. IEEE Transactions on Power Systems, 31(1), 738-748. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2392103.

КРАВЧЕНКО Б.Д. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, пр. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна; rector@nmu.org.ua

Abstract. Transport safety is shaped not only by the condition of vehicles and infrastructure, but also by the worker who performs operational tasks. During work, the employee's functional state may change under the combined influence of workload, work and rest patterns, fatigue, drowsiness, stress, and workplace conditions. This paper examines how functional state can be incorporated into the assessment of the human factor and professional risk. Based on recent studies, the relationship between working conditions, functional state, task performance, and the possibility of erroneous action is outlined. Particular attention is given to operators of mining transport, whose work combines prolonged and repetitive operations with specific environmental and organizational conditions.

Безпека транспортної діяльності залежить від технічного стану транспортних засобів, організації роботи та дій працівників. У процесі виконання професійних завдань працівник одночасно керує транспортним засобом, приймає оперативні рішення та взаємодіє з інфраструктурою і зовнішнім середовищем, тому його дії є важливою складовою забезпечення безпеки.

Транспортну систему не можна оцінювати лише через окрему дію працівника. На виникнення небезпечної ситуації можуть одночасно впливати характеристики транспортного засобу, стан інфраструктури, умови роботи та організація професійної діяльності [1]. Тому людський фактор у подальшому розглядається разом із тими умовами, у яких працівник виконує своє завдання, та з його поточним функціональним станом.

Для оцінювання цього взаємозв'язку важливі умови самої професійної діяльності. Робота водія пов'язана з тривалим перебуванням за кермом, постійним контролем дорожньої ситуації, опрацюванням значного обсягу інформації та необхідністю приймати рішення в обмежений час. За тривалої або інтенсивної роботи ці вимоги можуть супроводжуватися накопиченням втоми, сонливістю та зниженням стійкості уваги, що позначається на виконанні професійних дій.

Стан працівника протягом робочого процесу не залишається сталим. На його зміни впливають тривалість навантаження, чергування роботи й відпочинку, зміст завдання та умови його виконання. За певного поєднання цих чинників може змінюватися здатність працівника підтримувати необхідний рівень уваги й виконувати професійні дії без помилки.

Діяльність водія або оператора транспортної системи залежить від умов виконання професійного завдання, характеру робочого навантаження, організації праці та особливостей транспортного середовища. Це визначає багатофакторний характер транспортного ризику, що підтверджується систематичним оглядом досліджень професійних водіїв. Серед чинників, пов'язаних із виникненням дорожньо-транспортних подій, розглядаються організаційні та індивідуальні характеристики, кваліфікація, стан водія, поведінкові та зовнішні фактори [2].

Робоче навантаження безпосередньо пов'язане з характером транспортної роботи. Його величина визначається ситуацією руху, складністю завдання, необхідною швидкістю реагування та іншими умовами, у яких працює водій [3]. Тривале або нерівномірне навантаження може супроводжуватися розвитком втоми, особливо за недостатньої кількості перерв і неповного відновлення [4-5]. Для професійних водіїв додаткове значення мають тривалість керування, режим праці та відпочинку і можливість своєчасного відновлення.

Для працівників гірничої галузі проблема втоми набуває особливого значення. Дослідження операторів гірничого транспорту пов'язують її з умовами та організацією роботи, а також розглядають питання її виявлення й управління нею [4-6]. Для таких працівників важливим є також застосування засобів моніторингу функціонального стану під час виконання професійних завдань [7].

Самого факту виявлення втоми або іншої зміни стану працівника недостатньо, щоб оцінити надійність його роботи. Потрібно встановити, чи має така зміна значення для конкретної професійної дії та чи може вона вплинути на своєчасність, точність або послідовність її виконання. Саме цей зв'язок дає змогу перейти від характеристики функціонального стану до оцінювання можливості помилкової дії.

Одним із підходів до оцінювання втоми є використання фізіологічних показників, зокрема варіабельності серцевого ритму [8]. Водночас інформація про функціональний стан сама по собі не визначає рівень транспортного ризику. Її доцільно розглядати разом з умовами роботи та характеристиками професійного завдання. Такий підхід пов'язаний з оцінюванням людської надійності, яка характеризує здатність працівника виконувати необхідні професійні дії.

Для транспортної діяльності питання умов праці та безпеки не існують окремо одне від одного. Стан працівника формується в конкретному робочому середовищі й змінюється разом із характером та тривалістю навантаження. Тому під час аналізу людського фактора важливо враховувати не лише наявність небезпечних умов, а й те, як вони позначаються на здатності працівника виконувати необхідні дії. Такий підхід відповідає змісту охорони праці та пов'язується із завданням збереження життя, здоров'я і працездатності людини [3].

У роботі функціональний стан працівника розглядається як змінна характеристика людського фактора, яку слід оцінювати разом із робочим навантаженням, умовами професійної діяльності та вимогами конкретного завдання. Така постановка питання дає змогу простежити послідовність від зміни стану працівника до можливості помилкової дії та пов'язаного з нею професійного і транспортного ризику.

Для практичного використання цього підходу необхідно визначити показники, за якими можна оцінювати функціональний стан працівника під час роботи, та встановити спосіб їх урахування в процедурах оцінювання людської надійності. Особливо це важливо для операторів гірничого транспорту, оскільки їхня діяльність відбувається в умовах тривалих змін, повторюваних операцій і специфічного робочого середовища.

Список літератури:

1. Mygal, G. (2024). Problems of the human factor in transport systems. *Transport Technologies, 5*(1), 31-43. https://doi.org/10.23939/tt2024.01.031
2. Jakobsen, M.D., Seeberg, K.G. V., Møller, M., Kines, P., Jørgensen, P., Malchow-Møller, L., Andersen, A.B., & Andersen, L.L. (2023). Influence of occupational risk factors for road traffic crashes among professional drivers: Systematic review. *Transport Reviews, 43*(3), 533-563. https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2132314
3. Ma, J., Wu, Y., Rong, J., & Zhao, X. (2023). A systematic review on the influence factors, measurement, and effect of driver workload. *Accident Analysis & Prevention, 192*, 107289. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107289
4. Bauerle, T.J., Sammarco, J.J., Dugdale, Z.J., & Dawson, D. (2022). The human factors of mineworker fatigue: An overview on prevalence, mitigation, and what's next. *American Journal of Industrial Medicine, 65*(11), 832-839. https://doi.org/10.1002/ajim.23301
5. Talebi, E., Rogers, W.P., Drews, F.A. (2022). Environmental and work factors that drive fatigue of individual haul truck drivers. *Mining, 2*(3), 542-565. https://doi.org/10.3390/mining2030029
6. Drews, F.A., Rogers, W.P., Talebi, E., & Lee, S. (2020). The experience and management of fatigue: A study of mine haulage operators. *Mining, Metallurgy & Exploration, 37*, 1837-1846. https://doi.org/10.1007/s42461-020-00259-w
7. Rogers, W.P., Marques, J., Talebi, E., & Drews, F.A. (2023). IoT-enabled wearable fatigue-tracking system for mine operators. *Minerals, 13*(2), 287. https://doi.org/10.3390/min13020287
8. Lu, K., Sjörs Dahlman, A., Karlsson, J., & Candefjord, S. (2022). Detecting driver fatigue using heart rate variability: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention, 178*, 106830. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106830

НАГУРСЬКИЙ О.А., КАЧАН С.І., ВАСІЙЧУК В.О., МАЦЬКІВ О.О. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГО-ОРІЄНТОВАНОЇ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В КУРСІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГРОМАД

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; oleg.a.nahurskyi@lpnu.ua

Abstract. The paper substantiates an ecological approach to strengthening the resilience of civil protection systems within the sustainable development of territorial communities. Modern military conflicts demonstrate that damage to critical infrastructure may generate cascading technological, hydrological and environmental risks with long-term consequences for ecosystems, public health and local economies. The destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant is considered as a large-scale example of such a cascading disaster. The study proposes an integrated framework combining predictive GIS-based risk assessment, environmentally oriented emergency planning, decentralized energy supply for critical facilities, and ecological restoration. The proposed approach is aimed at reducing irreversible environmental losses and increasing the adaptive capacity of territorial communities.

Сучасні збройні конфлікти та техногенні трансформації істотно розширили зміст завдань цивільного захисту. Пошкодження або руйнування критичної інфраструктури здатне спричиняти не лише безпосередні загрози життю та здоров'ю населення, а й каскад вторинних процесів — затоплення територій, забруднення водних ресурсів і ґрунтів, пожежі, хімічні викиди, порушення енергопостачання та деградацію природних екосистем. Тому сучасну систему цивільного захисту доцільно розглядати як складову загальної системи безпеки території та сталого розвитку громади.

Такий підхід відповідає логіці Цілей сталого розвитку ООН, зокрема Цілі 11 щодо сталих міст і громад та Цілі 13 щодо боротьби зі зміною клімату. Поряд із традиційними заходами реагування необхідно формувати еколого-орієнтовану резильєнтність — здатність територіальної громади протистояти кризовим впливам, підтримувати життєво важливі функції та відновлюватися після надзвичайної ситуації без накопичення критичних довгострокових екологічних втрат. Концептуально це узгоджується з Порядком денним ООН до 2030 року, який наголошує на взаємопов'язаності соціальної, економічної та екологічної складових розвитку [1].

Особливої актуальності проблема набула для України внаслідок широкомасштабної військової агресії. За даними офіційного ресурсу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «ЕкоЗагроза», оцінювання воєнної шкоди довкіллю постійно уточнюється в міру документування нових фактів та проведення розрахунків за затвердженими методиками. Така динамічність оцінок сама по собі свідчить про масштабність і складність завдання з фіксації екологічних наслідків війни.

Найбільш показовим прикладом каскадного екологічного ризику стало руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 р. За даними Міндовкілля, внаслідок катастрофи було втрачено понад 14 км³ води, затоплено близько 600 км² території, а також підтоплено близько 64 тис. га лісів [2]. Подія одночасно вплинула на водні ресурси, населені пункти, сільськогосподарські землі, природні екосистеми та інфраструктуру півдня України.

Наслідки цієї події продемонстрували принципову особливість сучасних надзвичайних ситуацій: первинне руйнування гідротехнічного об'єкта трансформувалося у комплекс взаємопов'язаних ризиків. Серед них — затоплення населених пунктів і природних територій, втрата водних ресурсів, порушення водопостачання та зрошення, деградація ґрунтів, зміна гідрологічного режиму, вплив на біорізноманіття та потенційне поширення забруднювальних речовин.

Інший клас каскадних загроз виникає при ураженні промислових підприємств, складів небезпечних речовин, нафтобаз та об'єктів енергетики. У такому випадку фізичне пошкодження споруди може одночасно створити пожежну, вибухову, хімічну та екологічну небезпеку. Масштаб поширення наслідків залежить від метеорологічних умов, рельєфу, гідрологічної мережі, характеру речовини та просторового розташування населених пунктів. Отже, традиційне планування цивільного захисту за принципом «об'єкт — зона ураження» має доповнюватися просторовим аналізом взаємопов'язаних природних і техногенних процесів.

Для підвищення резильєнтності громад доцільно сформувати трикомпонентну систему еколого-орієнтованого цивільного захисту. Перший компонент — предиктивний геоінформаційний моніторинг. На рівні територіальної громади доцільно створювати цифрову модель потенційних джерел небезпеки, що включає об'єкти критичної інфраструктури, потенційно небезпечні

підприємства, водні об'єкти, транспортні коридори, об'єкти поводження з відходами та природоохоронні території.

Поєднання ГІС із даними дистанційного зондування Землі, метеорологічними спостереженнями та гідрологічними моделями дає можливість прогнозувати просторовий розвиток аварійної ситуації. Для окремих типів задач можуть застосовуватися моделі поширення забруднювачів у поверхневих і підземних водах, а також моделювання атмосферного перенесення хімічних речовин. Результатом такого підходу має бути не лише карта небезпеки, а й сценарій прийняття управлінського рішення: визначення зони оповіщення, маршруту евакуації, місць розгортання сил реагування та ділянок першочергового екологічного контролю.

Другий компонент — інфраструктурна резильєнтність. Захисні споруди, медичні заклади, центри управління та інші критично важливі об'єкти повинні мати можливість автономної роботи в разі тривалого порушення централізованого електропостачання. Перспективним напрямом є використання локальних відновлюваних джерел енергії, акумуляторних систем накопичення, теплових насосів та енергоефективних систем вентиляції. Децентралізація енергозабезпечення підвищує стійкість критичної інфраструктури та водночас сприяє зменшенню екологічного навантаження.

Третій компонент — екологізація місцевого планування цивільного захисту. У кожній територіальній громаді доцільно формувати інтегрований «Екологічний паспорт безпеки», який має містити просторовий реєстр потенційно небезпечних об'єктів, карти можливих зон хімічного, пожежного та гідрологічного ураження, інформацію про вразливі екосистеми, джерела питного водопостачання та об'єкти природно-заповідного фонду. Важливою складовою такого паспорта повинні бути сценарії відновлення території після надзвичайної ситуації, включаючи локалізацію забруднення, санітарне очищення, відновлення ґрунтового покриву та фіторемедіацію.

На цій основі пропонується поетапна модель управління еколого-орієнтованою безпекою громади. На превентивному етапі здійснюються інвентаризація потенційних джерел небезпеки, оцінювання природної та техногенної вразливості території й цифрове моделювання можливих сценаріїв аварій. На оперативному етапі забезпечуються автоматизоване оповіщення населення, активація автономних систем життєзабезпечення, визначення безпечних маршрутів евакуації та оперативний контроль стану повітря, води і ґрунтів. На відновлювальному етапі проводяться оцінювання екологічної шкоди, локалізація забруднення, санація території та відбудова інфраструктури за принципом Build Back Better — «відбудувати краще, ніж було».

Особливе значення має перехід від реактивного до ризик-орієнтованого управління. Якщо традиційна модель цивільного захисту переважно спрямована на ліквідацію наслідків надзвичайної ситуації, то резильєнтна модель передбачає завчасне визначення критичних залежностей між інфраструктурою, населенням та довкіллям. Наприклад, припинення електропостачання може спричинити зупинку насосних станцій, що, своєю чергою, порушить водопостачання, функціонування систем пожежогасіння та роботу медичних закладів. Саме виявлення таких каскадних зв'язків повинно бути одним із ключових завдань цифрового планування цивільного захисту.

Запропонований підхід створює основу для переходу від моделі переважно оперативного реагування до інтегрованої системи управління ризиками. Поєднання ГІС-моніторингу, сценарного моделювання, автономного енергозабезпечення критичних об'єктів та екологічно орієнтованого відновлення дозволить підвищити стійкість територіальних громад до воєнних, техногенних і природних загроз та одночасно забезпечити відповідність процесів відбудови принципам сталого розвитку.

Список літератури:

1. United Nations General Assembly. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. New York, 2015.
2. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Провідні науковці та міжнародні експерти розробляють план відновлення екосистем після підриву дамби Каховської ГЕС. Київ, 2024.
3. Верховна Рада України. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс України; Закон від 02.10.2012 № 5403-VI. Чинна редакція.

Семінар 7 **Seminar 7**

НАЗАРЕВИЧ Л.Є.,[1] НАЗАРЕВИЧ А.В[2]. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

СЕЙСМІЧНІСТЬ В РАЙОНАХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАКАРПАТТЯ

[1]Інститут геофізики ім. С.І.Субботіна Національної академії наук України 79011, вул. Ярославенка,27, Львів, Україна; nazarevych.l@gmail.com;
[2]Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна Національної академії наук України, 79060, вул. Наукова, 3-Б, Львів, Україна; nazarevych.a@gmail.com;

Abstract. The modern seismicity of Transcarpathia is characterized predominantly by shallow earthquakes, with focal depths ranging from 2 to 16 km and magnitudes of 0.6–4.7. Transcarpathia is one of the most promising geothermal regions of Ukraine, possessing favorable geothermal and hydrogeological conditions for the formation of shallow geothermal reservoirs due to the high deep heat flow of 90–130 mW/m². The study demonstrates that earthquake foci are located in the vicinity of numerous geothermal water deposits, indicating the need to consider potential seismic hazards in the development and operation of geothermal resources.

Регіон Закарпаття є одним з найактивніших в сейсмічному плані в Україні. Тут зареєстровані землетруси від 4 до 7 балів. Сейсмічність Закарпаття тісно пов'язана з тектонічною будовою та сучасною геодинамікою земної кори регіону, в останній час також і з людською діяльністю (техногенні і техногенно спровоковані землетруси при видобуванні корисних копалин, заповненні та експлуатації водосховищ тощо). В Закарпатті щороку в середньому фіксується по 10-20 і більше землетрусів з магнітудою М від 0,6 до 2,9, а щодекілька років трапляються сильніші землетруси з магнітудами до 3,9-4,4 [1]. В основному сейсмогенеруючі структури пов'язані з зоною впливу Закарпатського глибинного розлому і диз'юнктивних вузлів регіональних розломів різного порядку і різної орієнтації [2].

Відомо також, що Закарпаття має значні геотермальні ресурси, вони пов'язані з високим (90-130 мВт/м2) глибинним тепловим потоком [3], з особливостями геологічної будови, зокрема, з наявністю під Закарпатським прогином потужної і обширної глибинної (глибини 7-14 км) тріщинуватої флюїдонасиченої геотермальної зони з температурами порядку 400-450ºС, з наявністю провідних глибинних сейсмоактивних розломів, що живлять приповерхневі гідротермальні зони в районі покрівлі фундаменту і в товщі осадових порід (глибини до 1-3 км). Геотермальні ресурси Закарпаття вже досить давно і доволі активно використовуються для рекреаційних цілей (відомі термальні басейни під Ужгородом, у Косино, в Берегово, у Виноградові, у Хусті та ін.), значно менше – для енергетичних цілей (опалення теплиць і будинків, електрогенерація тощо). Відомо про ряд землетрусів з силою І 5-6 балів якраз у районах, де зараз ведеться активна експлуатація термальних джерел, а також значно меншої сили, які трасують розломні зони, які є добрим провідником флюїдів.

Зміна природного напруження геологічного середовища веде до стрибка деформації (тригер), а відтак до появи сейсмічності. Результати досліджень показують, що індукована сейсмічність проявляється нижче глибини буріння, а зі збільшенням глибини магнітуда землетрусів демонструє поступову тенденцію до зростання, збільшення об'єму закачування води за невеликої відстані від розломів також веде до збільшення магнітуди землетрусів. Такі процеси відомі як у зонах видобування геотермальних ресурсів, зокрема, у роботі [4], так і в зонах видобування вуглеводнів, у зонах впливу водосховищ тощо.

Геотермальна енергія є життєздатною альтернативою газу для опалення будівель, промислових зон та теплиць, і таким чином може відігравати важливу роль у переході до сталої енергетики. І тут треба враховувати всі ризики, зокрема і сейсмічний.

Список літератури:

1. Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. (2012). Сейсмічність і деякі особливості сейсмотектоніки Українських Карпат. Геодинаміка, 1 (12), 145-151. https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.145
2. Nazarevych A.V., Nazarevych L.Ye., Bayrak G.R., Pyrizhok N.B. (2022). Seismotectonics of the Oash and Transcarpathian deep faults junction zone (Ukrainian Transcarpathians). Geodynamics, 2(33), 99-114. https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100.
4. Кутас Р.И. (2016). Геотермические условия и мезо-кайнозойская эволюция Карпато-Паннонского региона. *Геофиз. журн.*, 38 (5), 75-107. https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5. 2016.107823.
5. Shan, K.; Zheng, Y.; Cheng, W.; Shan, Z.; Zhang, Y. (2025). Evaluation of Seismicity Induced by Geothermal Development Based on Artificial Neural Network. *Energies*, 18, 4004. https://doi.org/10.3390/en18154004.

БЄЛОКОНЬ К.В.[1], МАЛЬОВАНИЙ М.С.[2], ПРОСКУРНІН О.А.[3],
КОВАЛЬ В.В.[1] (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ, ЛЬВІВ, ХАРКІВ)

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ТА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ)

[1]Запорізький національний університет
69600, вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна; kv.belokon@gmail.com
[2]Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.mal@gmail.com
[3]Наукова дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
61165, вул. Євгенія Єніна, 6, Харків, Україна; olegproskrni@gmail.com

Abstract. The impact of technological and military-technogenic factors on the state of the environment and the level of environmental health risks for the population of Zaporizhzhia was investigated. The dynamics of priority pollutant emissions from stationary and mobile sources for the period of 2020–2024 were analyzed, and their synergistic relationship with the prevalence of chronic respiratory pathologies was established. The necessity of strategic environmental safety management in an industrial region under armed conflict conditions was substantiated to preserve the demographic potential.

Екологічна стабільність є стратегічним фундаментом збереження здоров'я нації та її майбутнього демографічного потенціалу. В умовах збройного конфлікту деградація життєвого середовища набуває характеру системної кризи, де воєнні руйнування накладаються на існуючий промисловий ландшафт. Запоріжжя, як один із найпотужніших промислових вузлів Східної Європи, де сконцентровано 65% продуктивних потужностей та 43% населення області, перебуває в зоні екстремального антропогенного навантаження. Воєнні дії є фактором довгострокового негативного впливу, що спричиняє синергетичний ефект: поєднання токсичного забруднення від промислових гігантів із деструктивними наслідками обстрілів та руйнування критичної інфраструктури. Взаємозалежність стану довкілля та демографічних показників є прямою – трансформація промислової активності під час війни не лише змінила структуру викидів, а й створила нові вектори загроз для громадського здоров'я, що потребують негайного експертного аналізу [1].

Якість атмосферного повітря в промисловому центрі є первинним фактором формування ризиків хронічних респіраторних патологій [2]. Аналіз динаміки викидів від стаціонарних джерел виявляє складну траєкторію: після відносної стабільності у 2020–2021 рр. (64,7–67,6 тис. т) у 2022 році спостерігався спад до 46,4 тис. т. Проте цей тренд був зумовлений виключно деструктивними чинниками війни – розривом логістичних ланцюгів та дефіцитом електроенергії. Починаючи з 2023 року (51,8 тис. т) та у 2024 році (53,8 тис. т), фіксується відновлення промислового тиску на атмосферу.

Загальний обсяг викидів пріоритетних забруднювачів наведено у таблиці 1. Особливу небезпеку становить формальдегід, обсяги якого зросли у 2023-2024 рр. через діяльність ПрАТ «Запоріжвогнетрив». Паралельно автотранспорт забезпечує 40-60% загального забруднення, концентруючись у «гарячих точках» міста (перехрестя Соборний/Металургів, Соборний/Українська, бульвар Вінтера/Гребельна). У 2024 році 20,5% проб повітря мали перевищення ГДК (проти 16,1% у 2023 р.), що безпосередньо корелює із поширенням бронхітів та астми [3, 4].

Таблиця 1

Загальний обсяг викидів пріоритетних забруднювачів (т/рік)

Забруднювальна речовина	2020, т/рік	2021, т/рік	2022, т/рік	2023, т/рік	2024, т/рік
пил (НДЗС)	5223,9	4702,8	4690,0	2818,7	3066,0
азоту діоксид	5662,4	5132,1	5270,2	3171,9	3571,8
сірководень	19,7	19,7	20,5	15,7	16,9
фенол	12,5	9,0	13,8	9,8	5,5
формальдегід	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
сірковуглець	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Попри волатильність промислових викидів, руйнування критичної інфраструктури створило масштабнішу загрозу – системну деградацію водних ресурсів. Водні ресурси Дніпровського басейну є критичним чинником санітарно-епідеміологічної безпеки. Підрив греблі Каховської ГЕС (06.06.2023) спричинив катастрофічне обміління берегів та островів у межах Запоріжжя, що радикально змінило мікроклімат та умови водозабору. Згідно з експертними даними за 2024 рік, 100% проб води у місцях водозабору та зонах рекреації не відповідали гігієнічним нормативам. Ключовими чинниками є перевищення за показниками pH, забарвлення, завислих речовин, ХСК, БСК та критично низький рівень розчиненого кисню. Санітарно-епідеміологічна ситуація ускладнюється мікробіологічними ризиками: 10,5% відхилень у місцях водозабору та 53,5% у зонах відпочинку створюють передумови для спалахів гострих кишкових інфекцій. Екологічна катастрофа має глибокий вплив на біорізноманіття: під загрозою опинилися території Смарагдової мережі, зокрема 25 вразливих типів оселищ та місцеві популяції 82 видів рослин і тварин, що охороняються Бернською конвенцією. Деградація вод супроводжується накопиченням токсикантів, що створює кумулятивний ефект для здоров'я населення.

В умовах війни безпека життєдіяльності визначається не лише радіаційним моніторингом, а й критичним станом промислових накопичувачів. Радіаційний фон залишається в межах норми (6-20 мкР/год), проте близькість зони бойових дій вимагає постійної готовності до йодної профілактики. Особливим ризиком є шламонакопичувач у балці Капустянка (площа 148,46 га), який входить до комплексу ПАТ «Запоріжсталь». Накопичення промислових відходів (понад 1397 тис. т у 2024 р.) та заповнення полігонів ТПВ створюють загрозу вторинного забруднення. Спостерігається небезпечне «запечатування» ґрунтів у центрі міста та їх забруднення важкими металами й бенз(а)піреном від автотранспорту.

Демографічна ситуація є кінцевим індикатором якості життєвого середовища. У місті Запоріжжі спостерігаються критичні зміни: показник загальної смертності зріс із 16,4% (2020 р.) до 21,2% (2021 р.); зафіксовано падіння народжуваності з 6,8% у 2018 р. до критичних 3,7% у 2022 р.; малюкова смертність – як найбільш чутливий індикатор кризи, цей показник продемонстрував стрімке зростання з 2,31% (2020 р.) до 5,67% (2022 р.).

Пріоритетними хворобами є серцево-судинні захворювання, новоутворення та інфекційні хвороби. Показник захворюваності на COVID-19 у 2022 р. склав 3997,5 на 100 тис. населення, при цьому 100% померлих мали хронічні супутні патології.

Відновлення здоров'я населення міста Запоріжжя неможливе без радикальної екологічної модернізації, яка має стати частиною дорожньої карти повоєнного відновлення:

- модернізація водокористування: враховуючи, що у 2024 році ПАТ «Запоріжсталь» забрало 75,0 млн м^3, а КП «Водоканал» – 73,8 млн м^3 води, ці підприємства мають стати пріоритетними об'єктами для впровадження новітніх систем очищення та досягнення нормативів за завислими речовинами й киснем;

- розвиток моніторингу: впровадження інстальованих у 2025 році аналізаторів APDA-372 для автоматизованого контролю часток $PM_{2.5}$ та PM_{10}, що дозволить оперативно виявляти зони респіраторного ризику;

- управління відходами: необхідна екстрена розробка технологій рекультивації шламонакопичувача балки Капустянка та прискорення будівництва полігону ТПВ №3 (27 га) для розвантаження існуючих потужностей;

- збереження екомережі: захист територій ПЗФ (4,34% міста) та відновлення оселищ Смарагдової мережі як природних бар'єрів проти антропогенного тиску. Комплексне відновлення регіону вимагає переходу від ліквідації наслідків до стратегічного управління екологічними ризиками заради збереження генетичного потенціалу та здоров'я майбутніх поколінь.

Список літератури:

1. Belokon K., Malovanyy M., Proskurnin O. The Improvement of the Automated Monitoring System for Atmospheric Air Quality in the City of Zaporizhzhia. *Екологічні науки*. 2024. № 5(56). С. 263-268. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.39

2. Бєлоконь К.В., Мальований М.С., Тарабан Є.В. Оцінка ризику для здоров'я населення від техногенного навантаження на атмосферне повітря м. Запоріжжя. Екологічні науки. 2023. № 5(50). С. 30-36. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5

3. Запорізька міська рада. Програма охорони довкілля щодо поетапного зниження викидів забруднюючих речовин суб'єктами господарювання м. Запоріжжя». URL: surl.lu/eopsrc. (дата звернення: 05.05.2025).

4. Matukhno E., Belokon K., Shatokha V., Baranova T. Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2019. Vol. 6. Issue 4. P. 671-680.

ПИЛИПЕНКО О.В., САНЬКОВ П.М., ОСТАПЕНКО І.С.,
РИБАЛКА К.А., КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т.А. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ОРГАНІЗАЦІЯ ЕВАКУАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ ПІД ЧАС НЕБЕЗПЕК

Український державний університет науки і технологій України
49010, Україна, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, Україна; ffice@ust.edu.ua

Abstract. Under martial law, the organization of evacuation on a construction site must also take into account the threat of missile strikes. Modern requirements specify that workers must be evacuated to a protective shelter within 1÷2 minutes of an alarm signal. A comparative calculation was conducted for the maximum distance to a temporary protective shelter made of prefabricated reinforced concrete box sections for the specified evacuation time. It was established that this distance should be within 60÷120 meters. Thus, in the absence of a shelter on site, the construction company is obligated to identify the nearest shelter in advance; however, installing a temporary modular protective shelter directly on the site remains the priority solution.

Однією з найважливіших складових пожежної безпеки під час будівництва та експлуатації захисної споруди цивільного захисту є забезпечення безпечної та своєчасної евакуації людей у разі виникнення пожежі або іншої надзвичайної ситуації [1, 2]. Розглянуто нове будівництво захисної споруди цивільного захисту (сховища) для укриття 500 осіб на території закладу загальної середньої освіти. Відповідно до статей 2 і 32 Кодексу цивільного захисту України [3] сховище є переважно підземною спорудою для тривалого (не менше 48 годин) перебування значної кількості людей.

Відповідно до ДБН В.2.2-5:2023 [4] захисні споруди цивільного захисту повинні мати не менше двох незалежних евакуаційних виходів, при цьому принаймні один із них має передбачати можливість виходу людей у разі завалу основного входу. Основні вимоги до евакуаційних виходів представлені в таблиці 1 та при проведенні первинного інструктажу безпосередньо на будівельному майданчику.

Таблиця 1

Основні вимоги до евакуаційних виходів

Показник	Вимога
Кількість виходів	Не менше 2
Напрям відкривання дверей	За напрямком евакуації
Освітлення	Робоче та аварійне
Позначення	Світлові покажчики
Утримання проходів	Постійно вільні

На період будівництва необхідно забезпечити безпечну евакуацію працівників із території майданчика: визначаються маршрути евакуації, встановлюються інформаційні знаки, призначаються відповідальні особи та регулярно проводяться тренування персоналу з евакуації [5]. Під час тренувань відпрацьовуються сигнал оповіщення, порядок повідомлення, рух за вказаними знаками до найближчого виходу, прибуття на місце збору та переклик персоналу, що дозволяє перевірити готовність працівників до дій у разі пожежі.

В умовах воєнного стану організація евакуації на майданчику має враховувати й загрозу ракетних ударів. Сучасні вимоги передбачають, що працівники повинні бути евакуйовані до захисної споруди протягом 1÷2 хвилин від сигналу тривоги, оскільки саме такий проміжок часу є критичним для збереження життя [6]. Виконати цю вимогу можливо лише за умови розміщення безпосередньо на майданчику тимчасової захисної споруди зі збірних залізобетонних коробчастих секцій (рис. 1).

Порівняльний розрахунок часу евакуації $t = L / v + t_0$ (де L - це довжина шляху, $v \approx 70$ м/хв - швидкість руху, t_0 - час реакції) показує, що за наявності захисної споруди на майданчику ($L \approx 60÷120$ м) час евакуації становить 1÷2 хв, тоді як за її відсутності та потреби прямувати до найближчого укриття за межами майданчика ($L \approx 700÷900$ м), тоді час евакуації становить 12÷14 хв, що в декілька разів перевищує критичний. Отже, за відсутності споруди на майданчику будівельна організація зобов'язана завчасно визначити найближче укриття, проте пріоритетним рішенням залишається встановлення тимчасової модульної захисної споруди на самому майданчику [6].



Рис. 1. Тимчасова модульна залізобетонна захисна споруда з секцій

Висновки

1. Організація безпечної та своєчасної евакуації людей є одним із визначальних напрямів забезпечення пожежної безпеки об’єктів цивільного захисту; для підземного сховища на 500 осіб необхідно передбачити не менше двох незалежних евакуаційних виходів, систему оповіщення, аварійне освітлення та зрозумілі маршрути руху [1, 2].

2. Обґрунтовано, що евакуаційні заходи слід передбачати вже на етапі будівництва. Відповідно розміщення на майданчику тимчасової захисної споруди зі збірних залізобетонних секцій забезпечує евакуацію будівельників за 1÷2 хвилини, тоді як за її відсутності час зростає до 12÷14 хвилин, що не забезпечує захисту працівників (будівельників), під час повітряних тривог [6].

3. Виявлено, що чинна нормативна база недостатньо враховує сучасні умови будівництва захисних споруд, а також фактичні ризики, пов’язані з повітряними тривогами, що потребує подальшого вдосконалення нормативних та організаційних рішень [2, 7].

Список літератури:

1. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Мінрегіон України, 2017. 39 с.
2. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ: Мінінфраструктури України, 2023. 115 с.
3. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17
4. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12
5. Організація евакуації людей під час пожежі : методичні рекомендації / ДСНС України. Київ, 2021. 52 с.
6. ДСТУ 9195:2022. Швидко споруджувані захисні споруди цивільного захисту модульного типу. Основні положення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 26 с.
7. ДБН В.1.2-4:2019. Система безпеки і надійності у будівництві. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту. Київ: Мінрегіон України, 2019.

СЕМЕНЧУК О.Р., НАГУРСЬКИЙ О.А. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ ВНАСЛІДОК ВИТОКУ ПАЛИВО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ДІЯЛЬНОСТІ ТОРГОВО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, м. Львів
79013, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua

Abstract The study considers soil contamination in areas of active operation of trade and logistics centers caused by petroleum products and heavy metals. An integrated assessment approach combining quantitative chemical analysis of petroleum hydrocarbons with phytotoxicity testing using Lepidium sativum is proposed. The source material indicates that chronic micro-spills from parking, maneuvering and unloading areas can lead to the accumulation of hydrocarbons in the upper soil horizon, while transport-related inputs contribute to the accumulation of Zn, Pb, Cd and Ni. The phytotoxicity indicator based on root growth makes it possible to assess the biological response of soil more comprehensively than chemical concentrations alone. A risk matrix linking petroleum hydrocarbon content and phytotoxic effect is presented. The approach can support preventive engineering measures, monitoring and phytoremediation of contaminated soils.

Інтенсивне функціонування торгово-логістичних центрів формує локальні осередки техногенного навантаження на ґрунтовий покрив. Основними чинниками є аварійні та хронічні витоки дизельного палива, моторних і трансмісійних олив, гальмівних рідин та інших експлуатаційних матеріалів. Особливу небезпеку становлять хронічні мікророзливи у місцях довготривалого паркування, маневрування та розвантаження транспорту, оскільки вони поступово накопичуються у верхньому горизонті ґрунту. Одночасно транспорт є джерелом важких металів, зокрема Zn, Pb, Cd та Ni.

Метою дослідження є комплексна оцінка екологічного ризику забруднення ґрунту нафтопродуктами та важкими металами шляхом поєднання хімічного аналізу з біологічним фітотестуванням. Відбір зразків запропоновано здійснювати з верхнього гумусового горизонту 0–20 см із формуванням об’єднаної проби з декількох точкових зразків; як фон використовуються зразки із суміжних територій поза зоною впливу логістичного центру.

Для визначення загального вмісту нафтових вуглеводнів у статті розглянуто екстракційно-гравіметричний підхід, а важкі метали пропонується визначати методом атомно-абсорбційної спектрометрії після мінералізації проб. Однак самі концентрації забруднювачів не повністю характеризують екологічний ризик, оскільки токсичність залежить від властивостей ґрунту та сукупної дії декількох стресорів. Тому додатково застосовується фітотестування з використанням крес-салату (Lepidium sativum), для якого найбільш чутливим показником є пригнічення росту коренів.

Запропонована в роботі матриця ризику поєднує вміст нафтопродуктів із показником ефективної фітотоксичності. За РЕ < 20 % токсичність оцінюється як відсутня, 20÷40% - слабка, 40÷60% - помірна, а понад 60% - небезпечна. Для вмісту нафтопродуктів понад 1,0% та відповідного зростання фітотоксичності ризик переходить до кризового рівня; понад 2,5% і РЕ > 80 % визначено катастрофічний рівень із прогнозом формування техногенного субстрату.

Таким чином, комплексування хімічних і біологічних показників дає змогу врахувати не лише валове накопичення забруднювачів, а й фактичну реакцію рослинного тест-об’єкта. Матеріали статті вказують, що навіть відносно невеликі концентрації нафтопродуктів можуть супроводжуватися токсичним ефектом, який посилюється присутністю важких металів. Для зменшення ризику доцільними є інженерні заходи — гідроізоляція паркувальних майданчиків, закритий поверхневий дренаж та маслоуловлювачі, а для вже деградованих територій — фіторемедіація і рекультивація.

БРАНОВСЬКИЙ М.В., НАГУРСЬКИЙ О.А. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ МІГРАЦІЇ ЗАЛИШКОВИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ІЗ ПОВЕРХНЕВИМИ ТА ҐРУНТОВИМИ ВОДАМИ

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, м. Львів
79013, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua

Abstract The study substantiates an approach for determining the intensity of migration of residual mineral fertilizer components from agricultural soils to surface and groundwater. Nitrate nitrogen is considered the principal indicator because of its high mobility in the soil-water system. The proposed assessment combines measurements of nitrate concentrations in soil water, drainage and surface water with hydrological parameters and fertilizer-load indicators. For the Vereshchytsia River catchment, the approach is relevant because diffuse agricultural runoff is an important pathway of nitrate delivery to surface waters. Laboratory filtration experiments with nitrate solutions of 10, 25 and 50 mg/L demonstrate that water-treatment systems containing energy willow can reduce nitrate concentrations by 45–60% after 24 h, indicating the potential of nature-based interception measures. The proposed indicators allow migration intensity to be compared between sites and seasons and can support targeted measures for reducing nutrient losses.

Інтенсивне застосування мінеральних добрив у сільському господарстві може формувати надлишковий запас розчинних сполук азоту в ґрунтовому профілі. За умов опадів, зрошення та дренажного стоку частина нітратів переміщується за межі кореневмісного шару, потрапляючи у поверхневі та ґрунтові води. Для оцінювання такого процесу доцільно розглядати ґрунт–воду як єдину міграційну систему, в якій інтенсивність перенесення визначається не лише концентрацією нітратів, а й об'ємом водного потоку.

Запропоновано оцінювати інтенсивність міграції залишкових мінеральних добрив за комплексом показників: концентрацією нітратного азоту у ґрунтовій воді та поверхневому стоку, водним потоком, питомим винесенням нітратів з одиниці площі, сезонною динамікою та співвідношенням між концентрацією у воді й фактичним агрохімічним навантаженням. Такий підхід дає змогу відокремити високі концентрації, зумовлені малим водним потоком, від ситуацій, коли одночасно спостерігаються значна концентрація та велика маса винесення.

Для водозбору річки Верещиця особливого значення набуває контроль ділянок із високою часткою орних земель і розвиненою дренажною мережею. У доступних матеріалах досліджень водозбору наголошено на проблемі дифузного нітратного забруднення поверхневих вод сільськогосподарського походження. Для експериментального підтвердження ефекту природоорієнтованих заходів у лабораторних умовах досліджували модельні розчини з концентраціями нітратів 10, 25 і 50 мг/л.

Визначення концентрації нітратів доцільно проводити фотометричним методом у воді, відібраній із поверхневих водотоків, дренажних каналів та контрольних точок ґрунтових вод. Просторове порівняння має здійснюватися за єдиною схемою відбору, що враховує напрямок поверхневого стоку, характер землекористування та положення ділянки відносно русла. Особливу увагу необхідно приділяти періодам інтенсивних опадів і весняного водопілля, коли зростає водний обмін між ґрунтовим профілем, дренажними системами та поверхневими водами.

Кількісною характеристикою процесу може бути питомий потік нітратів, який визначають як добуток концентрації нітратного азоту у воді на об'єм стоку за відповідний період. У такому випадку міграцію доцільно виражати у масі азоту на одиницю площі водозбору за одиницю часу. Це дозволяє безпосередньо порівнювати ділянки з різною інтенсивністю стоку та визначати внесок окремих частин водозбору у формування нітратного навантаження.

Експериментальні результати з використанням енергетичної верби показали, що природоорієнтована фільтраційна система здатна знижувати концентрацію нітратів у модельній воді; ефективність очищення зростала зі збільшенням часу контакту і після 24 год становила 45–60 %. Це свідчить про перспективність використання фітофільтраційних бар'єрів для перехоплення частини нітратного потоку перед його надходженням у поверхневі водотоки.

Для практичного моніторингу запропоновано поєднати три рівні оцінювання: 1) визначення залишкового запасу доступного азоту в ґрунті; 2) контроль концентрації нітратів у ґрунтових і дренажних водах; 3) визначення фактичного винесення нітратів із поверхневим стоком. Така схема дає змогу встановити послідовність «мінеральне добриво → ґрунтовий розчин → ґрунтові/дренажні води → поверхневий водотік» та оцінити інтенсивність переходу азоту між окремими компонентами.

Таким чином, визначення інтенсивності міграції залишкових мінеральних добрив має ґрунтуватися не лише на разових концентраціях нітратів, а на поєднанні концентраційних, гідрологічних і просторових показників. Для водозбору річки Верещиця такий підхід може бути використаний для ідентифікації ділянок із підвищеним ризиком винесення нітратів, оцінювання сезонної динаміки та обґрунтування фітофільтраційних і буферних заходів.

ЧОРНЕНЬКИЙ В.М., НАГУРСЬКИЙ О.А. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАВОВОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ҐРУНТІВ

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, м. Львів
79013, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua

Abstract The study evaluates different forms of coffee-production waste as soil-improving materials for the reclamation of technogenically disturbed soil from the former Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise “Sirka”. A laboratory experiment compared coffee grounds, coffee husk, compost, vermicompost and biochar at application rates of 5 and 10 t/ha. The materials were assessed using physical, agrochemical, biological and toxicological indicators. At 10 t/ha, vermicompost provided the strongest improvement in microbial biomass, dehydrogenase activity, available nutrients and water-holding capacity, whereas biochar produced the strongest correction of soil acidity and immobilization of Pb, Zn and Cd. The results support a differentiated approach in which the form of coffee waste is selected according to the dominant limitation of the disturbed soil.

Рекультивація техногенно порушених ґрунтів потребує відновлення одночасно фізичних, агрохімічних і біологічних властивостей субстрату. У дослідженні оцінено можливість використання різних форм відходів кавового виробництва як функціональних ґрунтополіпшувальних матеріалів для дерново-підзолистого ґрунту, відібраного з порушених ділянок колишнього Яворівського ДГХП «Сірка». Вихідний ґрунт характеризувався сильно кислою реакцією (pH 3,8), низьким вмістом органічного вуглецю (0,40%) та низькою забезпеченістю доступними формами поживних елементів.

Експеримент включав 11 варіантів: контроль і п’ять форм кавових матеріалів - кавову гущу, кавове лушпиння, компост, вермикомпост і біочар - у дозах 5 та 10 т/га. Ґрунтові суміші витримували три місяці за вологості близько 65 % польової вологоємності. Ефективність оцінювали за об’ємною густиною, пористістю, польовою вологоємністю, pH, органічним вуглецем, загальним азотом, доступними P_2O_5 і K_2O, мікробною біомасою, дегідрогеназною активністю та рухомими формами Pb, Zn і Cd.

Усі досліджені матеріали позитивно впливали на фізичний стан ґрунту. За дози 10 т/га об’ємна густина зменшилася з 1,30 кг/м³ у контролі до 1,20 кг/м³ після внесення гущі, 1,18 кг/м³ лушпиння, 1,10 кг/м³ компосту, 1,08 кг/м³ вермикомпосту та 1,10 кг/м³ біочару. Пористість відповідно зросла до 58,0; 60,0; 65,2; 67,0 та 65,5 %, а польова вологоємність - до 36,5; 38,1; 41,5; 43,0 та 42,2%.

Агрохімічна відповідь залежала від форми матеріалу. Найвищий вміст органічного вуглецю (1,50 %), загального азоту (0,130 %), доступного P_2O_5 (15,0 мг/100 г) та K_2O (30,5 мг/100 г) отримано після внесення вермикомпосту в дозі 10 т/га. Водночас найбільша корекція кислотності спостерігалася після внесення біочару: pH підвищився з 3,8 до 6,0. Найвираженіша біологічна відповідь також була характерна для вермикомпосту. За дози 10 т/га мікробіомаса вуглецю зросла зі 150 до 300 мг/кг, дегідрогеназна активність - з 2,0 до 10,0 мг ТФФ/г·год, а чисельність мезофільних мікроорганізмів - з 20 до 50×10^6 КУО/г. Компост забезпечив проміжний ефект, тоді як біочар мав помірніший стимулювальний вплив на мікробіоту. Водночас найбільший токсикологічний ефект забезпечував біочар. За його внесення в дозі 10 т/га вміст рухомого Pb знизився з 15,0 до 8,0 мг/кг, Zn - зі 120 до 70 мг/кг, а Cd - з 0,60 до 0,20 мг/кг. Отже, зниження становило приблизно 47, 42 та 67% відповідно. Цей ефект пов’язано із поєднанням підвищення pH, збільшення органічного вуглецю та сорбційної здатності пористої структури біочару. Порівняння результатів засвідчило функціональну спеціалізацію досліджених матеріалів. Вермикомпост характеризувався найвищою біологічною та агрохімічною ефективністю; біочар — найвираженішою корекцією кислотності та іммобілізацією металів; компост поєднував кілька напрямів позитивної дії; кавова гуща та лушпиння забезпечували помірне органічне збагачення і поліпшення структури. Таким чином, результати обґрунтовують диференційоване використання кавових відходів у рекультиваційних технологіях. Для субстратів із дефіцитом органічної речовини та низькою біологічною активністю перспективними є компост і вермикомпост; за високої кислотності та підвищеної рухомості потенційно токсичних металів доцільним є застосування біочару. Встановлена позитивна дія дози 10 т/га характеризує лише досліджений діапазон і не є підставою для необмеженого збільшення норми внесення.

РЯБИКА М.М., ШИБАНОВА А.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЗБІР ДОЩОВОЇ ВОДИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ВОДНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; mykola.riabyka.asp.2026@lpnu.ua

Abstract. The full-scale war has revealed the vulnerability of centralized water supply in Ukraine to infrastructure damage and power outages. The study considers decentralized roof rainwater harvesting as a component of water security. Based on the ClimUAm gridded dataset for 1991–2020, the annual harvesting potential in five major Ukrainian cities ranges from 0.36 m³ per m² of roof in Odesa and Dnipro to 0.61 m³ in Lviv. Thus, a 1000 m² roof can supply 49–84 people at the national norm of 20 litres per person per day and 65–112 people at the Sphere minimum of 15 litres. Key requirements for emergency harvesting systems are defined, and their integration into civil protection plans is recommended.

Повномасштабна війна російської федерації проти України продемонструвала високу вразливість централізованих систем водопостачання. Пошкодження водогону «Дніпро–Миколаїв» 12 квітня 2022 р. позбавило Миколаїв централізованого доступу до придатної для споживання води [1], і мешканці обласного центру понад три роки жили без питної води в кранах [2]. Для громад, віддалених від лінії фронту, головним чинником ризику є залежність насосних станцій від електроенергії. Так, 23 листопада 2022 р. після ударів по енергосистемі Львів був повністю знеструмлений і залишився без водопостачання [3]. Такі перебої систематично виникають і в інших регіонах України: 22 березня 2024 р. внаслідок обстрілу Хмельниччини довелося відновлювати водопостачання в Хмельницькій і Шепетівській громадах [4], а 28 листопада 2024 р. після атаки на енергетичну інфраструктуру частина населених пунктів Рівненщини залишилася без води, а в Рівному вода подавалася зі зниженим тиском [5].

Спільною рисою цих загроз є централізованість: пошкодження одного елемента мережі залишає без води тисячі, а подекуди й сотні тисяч споживачів. Децентралізований збір дощової води з покрівель не має єдиної точки відмови й за належного проєктування може працювати без електроенергії, тому його доцільно розглядати як резервне джерело водопостачання. Мета роботи – обґрунтувати роль збору дощової води як елемента водної безпеки та визначити вимоги до таких систем в умовах воєнного стану.

Потенціал збору дощової води з покрівлі оцінено за формулою Ґулда–Ніссен-Петерсена [6]:

$$W = P \cdot A \cdot C_r, \tag{1}$$

де W – річний потенціал збору, м³; P – середня річна сума опадів за 1991–2020 рр., м, визначена за сітковим масивом ClimUAm Українського гідрометеорологічного інституту [7; 8] для вузлів, найближчих до метеостанцій п’яти міст; A – площа покрівлі, м²; C_r – коефіцієнт стоку (0,8 [6]).

Кількість осіб, яких можна забезпечити мінімальним гуманітарним обсягом води, визначено як відношення річного потенціалу збору до річної потреби однієї особи:

$$N = W / (365 \cdot q), \tag{2}$$

де q – мінімальна добова потреба у воді однієї особи, м³/(особу·добу). Розглянуто два значення: національну норму забезпечення питною водою в місцях тимчасового розміщення евакуйованих осіб – не менше 20 л/(особу·добу) [9], а також міжнародний гуманітарний мінімум Sphere для пиття, приготування їжі, особистої гігієни – 15 л/(особу·добу) [10]. Результати розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Потенціал збору дощової води з покрівель у п’яти містах України

Місто	P (1991–2020 рр.), мм	W з 1 м², м³/рік	W з 1000 м², м³/рік	N (1000 м²), осіб, q = 20 л/добу [9]	N (1000 м²), осіб, q = 15 л/добу [10]
Львів	764	0,61	611	84	112
Київ	581	0,46	465	64	85
Харків	573	0,46	459	63	84
Дніпро	450	0,36	360	49	66
Одеса	446	0,36	357	49	65

Потенціал збору в місті з найвищою кількістю опадів серед розглянутих (Львів) приблизно в 1,7 раза вищий, ніж у найпосушливіших (Одеса, Дніпро). Проте навіть в Одесі 1 м² покрівлі дає за рік близько 360 л води, а покрівля площею 1000 м² теоретично може забезпечити 49 осіб за національною нормою і 65 осіб за мінімумом Sphere. Оскільки обидві норми стосуються води для пиття й гігієни, такі показники досяжні лише за умови належного очищення зібраної води. Нерівномірність опадів протягом року й тривалі бездощові періоди зумовлюють потребу в накопиченні: резервуар слід утримувати частково наповненим як аварійний запас.

Напрям використання зібраної води визначає вимоги до її очищення. Для змиву туалетів, прибирання, поливу та пожежогасіння достатньо відведення першого змиву і механічної фільтрації. Використання для особистої гігієни, а в надзвичайних ситуаціях і для пиття, потребує додаткової тонкої фільтрації та знезараження. Найбільший ефект дає заміщення дощовою водою саме технічних потреб, що дає змогу зберегти обмежені запаси питної води для пиття та харчування.

Отже, збір дощової води з покрівель є доступним способом підвищити стійкість водопостачання громад до воєнних загроз у різних регіонах України. Доцільно включити такі системи до планів цивільного захисту громад, програм відновлення інфраструктури та вимог до нового будівництва громадських будівель.

Список літератури:

1. Українська Гельсінська спілка з прав людини. (2024). *Життя без води: як окупанти знищують водозабезпечення Півдня України*. https://www.helsinki.org.ua/articles/zhyttia-bez-vody-iak-okupanty-znyshchuiut-vodozabezpechennia-pivdnia-ukrainy/
2. *Новий водогін у Миколаєві побудували за технологіями, які вперше застосували в Україні*. (2025, 9 жовтня). Укрінформ. https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/4045568-novij-vodogin-u-mikolaevi-pobuduvali-za-tehnologiami-aki-vperse-zastosuvali-v-ukraini.html
3. Шиян, О. (2022, 23 листопада). *Львів повністю знеструмлений, припинена подача тепла і води*. ZAXID.NET. https://zaxid.net/pislya_raketnogo_udaru_u_lvovi_pripinili_podachu_elektroenergiyi_n1553289
4. Хижа, І., Шевчук, К. (2024, 22 березня). *Унаслідок обстрілу Хмельниччини 22 березня двоє людей загинуло, і є поранені*. Суспільне Хмельницький. https://suspilne.media/khmelnytskiy/711274-unaslidok-obstrilu-hmelniccini-22-berezna-e-zagibli-j-travmovani/
5. Шевчук, Д. (2024, 28 листопада). *Унаслідок російської атаки на Рівненщині зникли світло та вода*. ZAXID.NET. https://zaxid.net/unaslidok_rosiyskoyi_ataki_na_rivnenshhini_280_tis_spozhivachiv_zalishilis_bez_svitla_n1598721
6. Gould, J., & Nissen-Petersen, E. (1999). *Rainwater catchment systems for domestic supply: Design, construction and implementation*. Intermediate Technology Publications.
7. Osadchyi, V., Skrynyk, O., Palamarchuk, L., Skrynyk, O., Osypov, V., Oshurok, D., & Sidenko, V. (2022). *Ukrainian gridded monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation data (1946–2020)* [Data set]. Ukrainian Hydrometeorological Institute. https://doi.org/10.15407/uhmi.report.03
8. Osadchyi, V., Skrynyk, O., Palamarchuk, L., Skrynyk, O., Osypov, V., Oshurok, D., & Sidenko, V. (2022). Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946–2020. *Data in Brief, 44*, 108553. https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553
9. Кабінет Міністрів України. (2025). *Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо евакуації населення із територій активних та можливих бойових дій та забезпечення соціального захисту евакуйованих осіб* (Постанова № 1307 від 10 жовтня 2025 р.). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2025-п
10. Sphere Association. (2018). *The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (4th ed.). https://spherestandards.org/handbook

ТИХЕНКО О.М. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВОЮ БЕЗПЕКОЮ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»
69000, Південне шосе, 80, Запоріжжя, Україна; mip@metinvestholding.com

Abstract. The article analyzes modern approaches to ensuring occupational safety and optimizing occupational health and safety management systems at metallurgy enterprises. Key categories of occupational risks inherent in metallurgical production. A risk-based approach concept, grounded in the ISO 45010/ISO 45001 international standards, is substantiated. Organizational and technical solutions are proposed for integrating digital technologies (IoT, computer vision, wearables) into systems designed to prevent workplace injuries and occupational diseases.

Металургійна галузь належить до секторів економіки з підвищеним рівнем небезпеки та складними умовами праці. Вплив високих температур, розплавленого металу та шлаку, токсичних і вибухонебезпечних газів (пиловугільне паливо, доменний та коксівний гази), рухомих механізмів, підвищеного рівня шуму та вібрації створює постійні загрози для життя і здоров'я працівників.

Традиційні системи управління охороною праці, що орієнтуються на реєстрацію та розслідування вже фактів настання нещасних випадків, демонструють обмежену ефективність у сучасних високоінтенсивних виробництвах. Перехід від реактивного контролю до проактивного управління ризиками, а також впровадження концепції нульового травматизму вимагають перегляду систем безпеки та впровадження новітніх організаційних і цифрових інструментів.

В таблиці 1 представлені критичні зони підвищеного ризику, що були визначені на основі аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів металургійного підприємства за етапами технологічного циклу.

Таблиця 1

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за основними етапами металургійного виробництва

Зона підвищеного ризику	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори
Аглококсохімічне та доменне виробництво	отруєння монооксидом карбону, бензолом, аміаком та сірководнем; термічні ураження під час випуску чавуну та шлаку (1400–1500 °C); небезпека вибухів та пожеж у системах вдування пиловугільного палива.
Сталеплавильне виробництво	викиди розплавленого металу та шлаку внаслідок попадання вологи у завантажувальні бадді або випалювання футерування; небезпека ураження електричним струмом високої напруги (у дугових сталеплавильних печах); висока запиленість повітря робочої зони дрібнодисперсним пилом (Fe2O3, SiO2, CaO).
Прокатне та ковальсько-штампувальне виробництво	механічне травмування двигунами, валками прокатних станів, конвеєрами та ножицями гарячого різання; тшум та вібрація від роботи технологічного обладнання; високий рівень інфрачервоного (теплового) випромінювання.

Підґрунтям сучасної системи управління охороною праці (СУОП) металургійного підприємства є ризик-орієнтований підхід, регламентований стандартом [1]. Оцінка та управління ризиками здійснюються через ієрархію заходів контролю.

Для основних професій доменного цеху розроблено матрицю заходів контролю (табл. 2).

Для ідентифікації небезпек використано напівкількісний метод оцінки ризиків за матрицею 5×5 (де рівень ризику R = ймовірність (P) × тяжкість наслідків (S). Використання напівкількісного методу оцінки за матрицею 5×5 (R = P×S) дозволяє об'єктивно ранжувати небезпеки та математично обґрунтувати пріоритетність інвестицій у заходи захисту [2].

Для професій горнового та газовика показник тяжкості є максимальним (S=5), що вказує на наявність загроз катастрофічного характеру (смертельний травматизм, групові отруєння чи важкі опіки). Зниження підсумкового ризику для газовика (R=10) порівняно з горновим (R=15) досягається за рахунок нижчої ймовірності події (P=2 проти P=3), завдяки циклічності та локалізації газонебезпечних робіт.

Для машиніста шихтоподачі ймовірність впливу шкідливих факторів є найвищою (P=4), що зумовлено безперервним характером технологічного процесу подачі сировини. Незважаючи на помірну тяжкість окремого випадку (S=2), висока частота впливу пилу та вібрації формує середній

рівень ризику (R=8), який за відсутності контролю призводить до хронічних професійних захворювань (пневмоконіозу чи вібраційної хвороби).

Таблиця 2

Матриця заходів контролю працівників доменного цеху

Професія	Ключовий небезпечний фактор	P	S	Рівень ризику (R)	Заходи контролю (відповідно до ISO 45001)
Горновий доменної печі	Термічні ураження та сплески розплаву (температура 1450–1500 °C)	3	5	15 (високий)	гідравлічні гармати для забивання льотки та машини розкриття без прямої участі людини; використання вогнетривкого костюму з арамідних/алюмінізованих тканин, термостійкого взуття.
Газовик доменного цеху	Отруєння монооксидом карбону (CO) через витоки газу	2	5	10 (високий)	стаціонарні системи газоаналізу зі світлозвуковою сигналізацією; робота за нарядом-допуском у складі ланки не менше 2 осіб; персональний газоаналізатор CO, ізолювальний саморятівник.
Машиніст шихтоподачі	Дрібнодисперсний пил (Fe_2O_3, SiO_2, C) та вібрація від грохотів	4	2	8 (середній)	аспіраційні системи з рукавними фільтрами, зрошення вузлів розвантаження; респіратори ступеня захисту FFP3, протишумові навушники.
Водопровідник доменного цеху	Паровий вибух та опіки при прогарі охолоджувальних плиток	2	4	8 (середній)	автоматичний моніторинг температури та витрати охолоджувальної води; графіки інспекції та дотримання технологічної карти заміни холодильників.

Головною перевагою наведеної матриці є чітке дотримання ієрархії заходів контролю, де пріоритет надається інженерно-технічним рішенням та виведенню людини з небезпечної зони. Наведена матриця є ефективним проактивним інструментом СУОП. Вона демонструє перехід від формальної видачі засобів індивідуального захисту до комплексної інженерно-організаційної профілактики, що дозволяє суттєво знизити рівень травматизму та професійної захворюваності у найскладніших етапах технологічного циклу.

Інтеграція технологій «Індустрії 4.0» дозволяє створити концепцію цифрової охорони праці на металургійних підприємствах та автоматизує моніторинг небезпек у реальному часі. Наразі практична реалізація цієї концепції у металургійному секторі України має виражену фокусність. З огляду на обмеженість капітальних інвестицій та воєнні ризики, пріоритет надається цифровим інструментам безпеки із коротким терміном окупності (до 1 року) та високим соціально-екологічним ефектом. До таких заходів відносяться бездротові мережі газоаналізаторів у цехах з витоком газів (CO, CH_4) та віброакустична діагностика прокатно-витяжних станів і ексгаустерів; нейромережевий контроль наявності ЗІЗ та детекція перебування людей у «червоних зонах»; розумні трекери, що відстежують пульс, рівень теплового стресу та виявляють падіння працівника [3].

Отже, забезпечення безпеки праці на металургійних підприємствах вимагає комплексного поєднання інженерно-технічних рішень, суворого дотримання технологічної дисципліни та системного управління ризиками. Перехід від реактивної моделі реагування до проактивного управління на основі ISO 45001 і принципів нульового травматизму є основою зниження показників виробничого травматизму та професійної захворюваності. Впровадження цифрових технологій Індустрії 4.0 (відеоаналітика, Wearables, IoT) дозволяє виявити небезпечні дії та умови на ранніх стадіях, що забезпечує сталий розвиток металургійного підприємства.

Список літератури:

1. Системи управління охороною здоров’я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT): ДСТУ ISO 45001:2019. [Чинний від 2021-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 42 с.
2. Керування ризиками. Методи оцінювання ризиків (EN IEC 31010:2019, IDT; IEC 31010:2019, IDT) : ДСТУ EN IEC 31010:2022. [Чинний від 2023-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 106 с.
3. Kruse A., Lehmann M., Zhang Y. Application of Industry 4.0 Technologies for Occupational Safety in Heavy Industry. Safety Science. 2023. Vol. 158. Art. 105980. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105980.

САНЬКОВ П.М., БЄЛІКОВ А.С., ПИЛИПЕНКО О.В., ТКАЧ Н.О.,
ЗАХАРОВ В.Ю. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ІНТЕГРАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ТА ПОБУТОВИХ ФАКТОРІВ БЕЗПЕКИ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Український державний університет науки і технологій України
49010, Україна, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, Україна; ffice@ust.edu.ua

Abstract. he study reveals the purpose of adapting environmental noise calculation methods from urban areas to the conditions of industrial enterprises. The authors examine strategic directions for transitioning from ensuring acoustic comfort (in residential areas) to protecting workers' hearing, developing digital noise maps, evaluating acoustic risks, and designing engineering and technical protection for personnel in industrial environments. The paper addresses the harmonization of urban acoustics with occupational safety standards (DBN, EU), enabling the formation of a unified system for assessing noise impact on both personnel and the environment.

Автори в статі [1] здійснили спробу пов’язати інтеграцію виробничих і побутових факторів безпеки з урахуванням шумового забруднення. Тепер ми прагнемо до розгляду стратегічних напрямків переходу від забезпечення акустичного комфорту (на житлових територіях) до захисту слуху робітників в умовах виробництва. Метою цієї роботи є адаптація відомостей та методів розрахунку шумового навантаження, першочергово розроблених для житлових територій (містобудівної акустики), до умов промислових підприємств та їх робочих зон. Для досягнення цієї мети спрямуємо зусилля на створення єдиного, комплексно-інтегрованого підходу до управління акустичними ризиками. Це напасть змогу ефективно поєднати зовнішню екологічну безпеку (захист прилеглої забудови) із внутрішньою гігієною та охороною праці (захист працівників безпосередньо в цехах і на виробничих майданчиках).

Розширений розгляд ключових цілей та практичних завдань цієї адаптації охоплює декілька фундаментальних напрямів:

1. Трансформація цільових показників та нормування.

1.1 Перехід від комфорту до акустичного захисту й збереження здоров'я: Якщо нормування для житлових територій орієнтовано на забезпечення акустичного комфорту, запобігання розладам сну та дратівливості (за еквівалентними рівнями $L_{Адень}$, $L_{Анічь}$ відповідно до вимог директив на кшталт 2002/49/ЄС), то адаптація до промислових територій робить акцент на запобігання професійній втраті слуху, зниженню ступеня травматизму та спрямована на оптимізацію сприйняття звукових сигналів небезпеки.

1.2 Урахування часового регламенту та експозиції: Житлові нормативи розраховані на цілодобове перебування населення (24 години). Для промислових об'єктів методи розрахунку адаптуються під нормовану тривалість робочої зміни (8 годин або звітний робочий тиждень) із врахуванням фактичного коефіцієнта завантаження обладнання та індивідуального маршруту пересування робітників (розрахунок дози шуму).

2. Уніфікація та математичне моделювання акустичних полів.

2.1 Використання єдиного апарату хвильової та геометричної акустики: Адаптація дає змогу застосовувати перевірені алгоритми розрахунку поширення звуку на відкритій місцевості (наприклад, стандарт ISO 9613-2 або європейську методику CNOSSOS-EU) для відкритих майданчиків промислових підприємств (міжцехових просторів, резервуарних парків, транспортних проїздів).

2.2 Моделювання складних джерел шуму: На відміну від житлових зон, де переважають лінійні джерела (автодороги, залізниці), на промислових територіях переважають об'ємні, точкові та розподілені джерела з вираженою спрямованістю (вентиляційні шахти, компресорні станції, дробильні установки). Адаптація методів дозволяє деталізувати їхні шумові характеристики (звукову потужність L_w у октавних смугах частот) та розраховувати їхній сумарний внесок.

3. Оцінка акустичного ризику та гігієнічна атестація робочих місць.

3.1 Побудова карти шумового зонування. Метод розрахунку та створення цифрових карт шуму, що активно використовується для міських територій, при адаптації до виробництва дозволяє візуалізувати зони високого акустичного ризику (понад 80–85 дБА) всередині підприємства.

3.2 Адресна розробка заходів безпеки: На основі розрахованих ізофон (ліній однакових рівнів шуму) розробляються регламенти перебування персоналу у небезпечних зонах, визначаються

маршрути безпечного пересування та розраховуються параметри необхідних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ органів слуху).

4. Комплексний акустичний захист («Джерело шуму – Шлях поширення шуму– Приймач, або Об'єкт захисту»)

4.1 Проектування інженерно-акустичного захисту: Адаптовані методи розрахунку дозволяють математично обґрунтувати необхідну ефективність засобів зниження шуму ще на стадії проектування або реконструкції підприємства:

4.2 Розрахунок акустичних екранів, кожухів, звукопоглинальних облицювань та глушників шуму.

4.3 Оцінка ефективності просторового розміщення шумного обладнання відносно робочих місць і меж санітарно-захисної зони (СЗЗ).

4.4 Прогнозування впливу шуму на навколишнє середовище: Адаптація створює наскрізну модель, за якою розрахунок шуму від конкретного верстата чи агрегату дає змогу оцінити не лише рівень шуму на робочому місці оператора, а й його підсумковий внесок у шумове навантаження на межі житлової забудови.

5. Гармонізація дій із нормативно-правовою базою (в Україні: ДБН, ДСТУ та в державах ЄС: Directives EU)

5.1 Спряженість із системами OSH (Охорона праці) та EMS (Екологічний менеджмент): Об'єднання методів забезпечує виконання вимог Директиви 2003/10/ЄС [2] (щодо мінімальних вимог безпеки стосовно впливу шуму на працівників) та ДБН В.1.1-31:2013 (Захист територій, будинків і споруд від шуму) [3].

5.2 Впровадження ризик-орієнтованого підходу: Отримання точних розрахункових даних є основою для ризик-менеджменту в системі управління охороною праці (зокрема при використанні інструментів інтерактивної оцінки ризиків, таких як OiRA*), забезпечуючи превентивний захист замість реактивного реагування на випадки професійних захворювань.

**Інтерактивна оцінка ризиків (Online interactive Risk Assessment — OiRA) — це європейська електронна платформа, розроблена Європейським агентством з безпеки та гігієни праці (EU-OSHA), яка призначена для спрощення, стандартизації та цифровізації процесів управління охороною праці, насамперед на підприємствах малого та середнього бізнесу.*

Окремо треба зупинитись на інтеграції OiRA з іншими напрямами безпеки (зокрема акустичною безпекою)

При застосуванні OiRA на промислових підприємствах платформа дозволяє комплексно поєднати загальні вимоги охорони праці зі спеціалізованими завданнями гігієни праці:

• **Акустичний ризик:** Введення даних про рівні шуму та вібрації дозволяє визначити критичні зони виробництва, де вимагається обов'язкове використання засобів індивідуального захисту слуху (ЗІЗ) або встановлення звукоізолюючих кожухів та екранів.

• **Психосоціальні та ергономічні фактори:** Окрім фізичних факторів, OiRA містить блоки для оцінки монотонності праці, робочої пози та інформаційного навантаження.

Висновок: Адаптація відомостей і методів розрахунку шумового навантаження перетворює окремі гігієнічні вимірювання на системне цифрове моделювання акустичного середовища підприємства. Це дає змогу завчасно оптимізувати витрати на звукоізоляцію, точно визначити акустичне навантаження на робітників і забезпечити дотримання нормативних вимог як всередині виробничих приміщень, так і на межі із житловою забудовою.

Список літератури:

1. Бєліков А.С., Саньков П.М., Ткач Н.О., Захаров В.Ю., Захаров І.Ю. Інтеграція виробничих та побутових факторів безпеки при оптимізації міського середовища з урахуванням шумового забруднення: стратегічні напрями та методологія дослідження/ The 27th International scientific and practical conference "New concepts of interdisciplinary research: from theory to technological solutions" (July 7–10, 2026) Bilbao, Spain. International Science Group. 2026. 316 p. 292-300

2. Директива 2003/10/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 06 лютого 2003 року про мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я стосовно впливу на працівників ризиків, викликуваних фізичними агентами (шумом) (сімнадцята окрема Директива у значенні Статті 16(1) Директиви 89/391/ЄЕС). Офіційний вісник Європейського Союзу. 2003. L 42. С. 38–44. URL: https://eur-lex.europa.eu/....

3. Захист територій, будинків і споруд від шуму : ДБН В.1.1-31:2013. — [Чинний від 2014-06-01]. — Київ : Мінрегіон України, 2014. — 95 с. — (Державні будівельні норми України).

Семінар 7 **Seminar 7**

ЖУРБЕНКО В.М. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЗУАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ ВИСОКОЇ ЗОРОВОЇ СКЛАДНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗОРОВОГО КОМФОРТУ, ПРАЦЕЗДАТНОСТІ, БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
49005, м. Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24а; postmaster@pdaba.edu.ua

Abstract. The increasing use of automation and information technologies has intensified visual workloads in many occupations, particularly for engineers and designers performing highly complex visual tasks. This study aims to develop an improved methodology for assessing the effects of the visual environment on visual comfort, work performance, and occupational safety. Analysis of Ukrainian and EU lighting standards revealed insufficient criteria for comprehensive assessment of workplaces requiring high visual complexity. A two-stage evaluation algorithm was developed, integrating quantitative and qualitative parameters of natural and artificial lighting. The proposed approach enables systematic assessment of lighting conditions and their impact on workers' comfort, performance, and safety.

Постановка проблеми. Розвиток автоматизації виробничих процесів із використанням інформаційних та медійних технологій викликає зростання числа працівників, особливості праці яких пов'язані з тривалим навантаженням на зоровий аналізатор. Статистика Міжнародної Організації Праці показує, що із зростанням частки зорових робіт високої складності у виробничих процесах збільшується кількість випадків набутої короткозорості, хвороб опорно-рухового апарату та серцево-судинної системи, викликаних негативним впливом на зоровий аналізатор і пов'язаних із ним систем [1].

Отже, серед ряда негативних факторів, дію яких потрібно враховувати при атестації робочих місць та при проєктуванні, будівництві, відбудові та реконструкції виробництв та розробці нових технологічних процесів дослідження якості світлого середовища займає особливе місце [2,3].

Мета роботи полягає в розробці удосконаленої методики оцінки впливу візуального середовища на комфорт, працездатність та безпеку життєдіяльності працівників, що виконують зорові роботи високої складності.

Основна частина. Для досягнення поставленої мети було розглянуто категорії робітників різних галузей, що мають споріднені умови праці за критерієм світлового середовища. Було виділено широку категорію робітників різних галузей підприємств України, діяльність яких є спорідненою, що визначалось на основі дослідження змісту роботи працівників та категорією зорової складності, потрібної для виконання цієї роботи [4,5]. Цій категорії робітників було дано умовну назву «інженери і проєктувальники»

На другому етапі досліджень була зроблена характеристика нормативів світлового середовища для робочих місць для працівників, що виконують зорові роботи високої зорової складності, що діють в Україні та країнах ЄС та обґрунтовано необхідність впровадження нової методики досліджень робочих місць з урахуванням факторів світлового середовища.

Проведений аналіз показав, що в діючих стандартах не запропоновані критерії оцінки якості світлового середовища, які необхідно враховувати при виконанні зорових завдань підвищеної складності. Це впливає на атестацію робочих місць, якість їх проєктування і повноту виконання вимог безпеки щодо світлового середовища.

Згідно з результатами проведених нами досліджень, комплекс заходів, які задовільняють вимоги до освітлення робочої зони та робочого середовища та відповідають критеріям безпеки життєдіяльності людини, базуються на наступних групах параметрів:

- зорового комфорту (робітники мають гарне самопочуття, що опосередковано сприяє підвищенню рівня працездатності та якості роботи);
- зорової працездатності (працівники можуть виконувати свої зорові завдання навіть у важких умовах і протягом більш тривалих періодів);
- забезпеченню безпеки технологічних процесів в урахуванням фізичного і психічного впливу світлового середовища на стан людей, що працюють.

Тому на основі проведених нами досліджень для оцінки компонентів світлового середовища з урахуванням впливу природнього та штучного освітлення як на працездатність, безпеку, так і на психофізіологічну діяльність, нами розроблено новий алгоритм покрокового циклу оцінки якості освітлення.

Розроблений алгоритм дозволяє комплексно оцінити кількісний та якісний вплив комплексу чинників візуального середовища на працездатність, безпеку праці та зоровий комфорт працівників, що виконують зорові роботи високої складності.

Запропонований алгоритм передбачає виконання дослідником двох етапів

На першому етапі проводиться дослідження найвизначніших параметрів як параметрів світла (як природнього так і штучного), так і візуального простору приміщення, де виконуються зорові роботи високої складності. Параметри фіксуються, оцінюється ступінь дії кожного з них, проводиться порівняння з діючими гігієнічними нормами.

На другому етапі оцінюється вплив досліджених на першому середовища на зоровий комфорт, працездатність та безпеку праці робітників, що виконуватимуть у цьому приміщенні зорові роботи високої складності.

Висновки. Проведене дослідження показує розповсюдженість зорових робіт як у будівельній галузі, так і у інших галузях промисловості в Україні і світі. Найбільшою групою ризику по розвитку професійних захворювань внаслідок негативного впливу світлового середовища є робітники, що виконують зорові роботи високої складності. Дослідження даних світового досвіду, що свідчать про значущість світлового середовища для формування оптимальних умов праці та навчання, профілактики травматизму та виникнення набутих хвороб, дозволяє зробити висновок про необхідність поглиблення наукових досліджень по комплексному впливу усіх факторів світлового середовища на фізіопсихологичний стан робітників та встановлення математичних моделей ризику здоров'ю робітників за умов раціонального використання природного освітлення у робочих приміщеннях та проектування штучного освітлення для робітників категорії «інженери і проектувальники», що виконують зорові роботи високої складності, у тому числі з використанням інноваційних інженерно-технічних рішень.

В нинішній час як міжнародні норми, так і нормативна база України не в повній мірі відображають вимоги, які пред'являються до робочого середовища, у якому виконуються зорові роботи високої складності. Тому визначена необхідність провести обґрунтування вибору основних критеріїв оцінки та розробки методики дослідження для оцінки світлового середовища при виконанні зорових робіт підвищеної складності.

Список літератури:

1. Статистика Міжнародної Організації Праці: вебсайт. URL: https://ilostat.ilo.org (дата звернення: 29.09.2026).
2. Loysos G. An investigation into the relationship between daylighting and human performance. The condensed report. 20 of August, 1999. Pacific gas and electric company. Available at: https://h-m-g.com/downloads/Daylighting/schoolc.pdf (accessed: 29.01.2024).
3. Darula S, Christoffersen J, Malikova M. Sunlight and insolation of building interiors. Energy Procedia. 2015; 78(11):1245 – 50. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.266.
4. Бєліков А.С., Журбенко В.М. Напрямки досліджень по підвищенню комфортності світлового середовища. Вісті Донецького гірничого інституту №1 (50), 2022 сс. 8-15 DOI: https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-7-15
5. Zhurbenko, V., Belikov, A., Sankov, P., Nazha, P. (2023). The Influence of the Visual Factor on the Efficiency of Visualization Method in the Production Environment. In: Gomes Correia, A., Azenha, M., Cruz, P.J.S., Novais, P., Pereira, P. (eds) Trends on Construction in the Digital Era. ISIC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 306. Springer, Cham. pp. 327-333. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4_22.
6. ДСТУ EN 12464-1:2016 (EN 12464-1:2011, IDT) Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця. - Київ ДП "УкрНДНЦ", 2016. 53 с.
7. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. Мін буд України. : Київ, 2018. 137 с.

СТОРОЖЕНКО Л.В. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА)

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ПИТНОЮ ВОДОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36011, проспект Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, Україна; kanc@nupp.edu.ua

Abstract. The paper examines the main problems of providing the population with drinking water under martial law. The factors that may disrupt water supply and limit access to drinking water are considered. Particular attention is paid to damage to water supply infrastructure, dependence on electricity, difficulties in restoring damaged facilities, and limitations of alternative water sources. Examples from Ukrainian cities illustrate these problems.

В умовах воєнного стану забезпечення населення питною водою може порушуватися навіть у населених пунктах, де до початку бойових дій система водопостачання працювала стабільно. Воєнні дії створюють додаткові ризики для водопровідної інфраструктури. На водопостачання впливають стан водозабірних споруд, насосного обладнання, електропостачання та мереж. Пошкодження одного з цих елементів може призвести до перебоїв або припинення подачі води.

Проблема не обмежується припиненням водопостачання. Відновлення пошкоджених систем може бути тривалим і небезпечним, а альтернативні джерела не завжди забезпечують питну воду. Тому важливо враховувати не лише наявність води, а й можливість її стабільної та безпечної подачі.

Однією з основних проблем є пошкодження водопровідної інфраструктури внаслідок бойових дій. Ураження насосних станцій, водопроводів та інших важливих об’єктів безпосередньо впливає на подачу води. Наприклад, у Харкові на початку повномасштабної війни через зниження тиску вода надходила до будинків із перебоями, а після влучання в насосну станцію водопостачання було повністю припинене [1].

Іншою проблемою є залежність систем водопостачання від електроенергії. Навіть без безпосереднього пошкодження водопровідних споруд припинення електропостачання може зупинити насосне обладнання. Так, у Бородянці після пошкодження ліній електропостачання насосні та каналізаційні станції були знеструмлені, через що мешканці залишилися без води. Для підтримання роботи системи довелося використовувати генератори [2].

Наступною проблемою є складність відновлення пошкоджених систем водопостачання. Після бойових дій ремонт не завжди може розпочатися одразу, оскільки пошкоджені території можуть залишатися небезпечними для працівників. У Балаклії більшість об’єктів водоканалу була зруйнована, а місто близько двох місяців залишалося без води. Проведення ремонтних робіт ускладнювалося необхідністю перевіряти територію на наявність вибухонебезпечних предметів [3].

Ще однією проблемою є обмежені можливості альтернативних джерел води. Якщо централізоване водопостачання пошкоджене, використання іншого джерела не завжди вирішує проблему питного водозабезпечення. У Миколаєві після пошкодження водогону для забезпечення міста почали використовувати альтернативне джерело, однак вода з нього мала підвищений вміст окремих мінеральних речовин і не могла повноцінно замінити якісну питну воду [4].

Наведені приклади не є вичерпними та охоплюють лише частину проблем, що виникають у забезпеченні населення питною водою в умовах воєнного стану.

Отже, надійність водозабезпечення населення в умовах воєнного стану залежить від здатності системи працювати та відновлюватися за умов зовнішніх загроз. Наявність водного ресурсу не гарантує його доступності та безпечності для пиття. Визначення вразливих елементів системи є важливим для пошуку способів підвищення її надійності.

Список літератури:

1. UNICEF. UNICEF keeps taps flowing for families in Ukraine. 2024. URL: https://www.unicef.org/ukraine/en/stories/unicef-keeps-taps-flowing-for-families-in-ukraine (дата звернення: 30.09.2026).
2. UNICEF. Ukrainian families fear for future as winter bites. 2022. URL: https://www.unicef.org/ukraine/en/stories/ukrainian-families-fear-future-as-winter-bites (дата звернення: 30.09.2026).
3. UNICEF. Protection of children and communities a priority amid reconstruction works. 2024. URL: https://www.unicef.org/ukraine/en/stories/protection-of-children-and-communities (дата звернення: 30.09.2026).
4. UNICEF. UNICEF repairs a water supply system in Mykolaiv. 2023. URL: https://www.unicef.org/ukraine/en/stories/repair-of-water-supply-system-in-mykolaiv (дата звернення: 30.09.2026).

СЕМІНАР 8

ЦИРКУЛЯРНА БІОЕКОНОМІКА ТА ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ (NATURE-BASED SOLUTIONS) У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

КОПАЧ П.І., ЯКУБЕНКО Л.В., ДАНЬКО Т.Т., ГОРОБЕЦЬ Н.В.,
ГАЛЬЧЕНКО З.С. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

КОНЦЕПЦІЯ «ЕКОЛОГІЧНОГО ЦІЛОГО ТЕРИТОРІЇ» В КОНТЕКСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
49005, вул. Сімферопольська, 2А, Дніпро, Україна; igtmnanu@ukr.net

Abstract. This paper examines the evolution of scientific approaches from the theory of geotechnical systems to the concept of techno-ecosystems in mining regions. It proposes viewing a territory as an integrated system through an assessment of its ‘ecological integrity’. Drawing an analogy with a living organism, the concept of the ‘ecological whole of a territory’ is introduced as a functional unit characterised by inherent spatial integrity, self-regulation and functional unity. The foundations of ‘ecological physiology’ are established, describing the flows of matter, energy, biota, information and human activity. Functional types of territorial elements (generators, transformers, accumulators, distributors, buffers, regulators) have been identified. The suitability of the approach for GIS modelling and spatial planning has been substantiated.

Автори цих тез починали свого часу наукові дослідження в рамках теорії «геотехнічних систем». Геотехнічні системи (ГТС) – це комплекс, у якому штучні технічні об’єкти (кар’єри, шахти, відвали, дамби, ЛЕП, дороги, насосні станції) взаємодіють із природним геологічним середовищем: масивом порід, ґрунтами, підземними водами, рельєфом. Для них головним є стійкість масиву порід, безпека та керованість технічних процесів, механіка ґрунтів і гірських порід, моделі деформацій, осідань, зсувів, вплив видобутку на геологічне середовище (зміна рельєфу, дренаж, осідання).

З часом увага була сконцентрована на «техноекосистемах». Основна ідея нового підходу полягає в тому, що техноекосистеми гірничого виробництва (ТЕС) включають екологію, біоту, атмосферу, воду, ландшафт. Тобто, техноекосистема – це ГТС + природа + соціум. Таким чином, ТЕС – це ширше поняття, яке включає всі техногенні об’єкти і процеси разом із природними екосистемами, які вони змінюють чи створюють, головними з яких, наприклад, є: екологічні потоки (вода, пил, важкі метали, кислотність, шум), біологічні компоненти (рослинність, ґрунтові угруповання, тварини), техногенні ландшафти (відвали, хвостосховища, кар’єрні водойми), ревіталізація/рекультивація (перехід техногенного об’єкта у новий тип екосистеми), соціально-економічний вимір (громади, землекористування, ризики).

Цей підхід був обумовлений виникненням більш суворих вимог щодо збереження природного середовища, обмеження природних ресурсів, орієнтація на європейське законодавства та ін.

Слід зазначити, що автори розглядали процеси природокористування на базі гірничодобувних регіонів у комплексі з функціонуючими там технологіями та відповідними екологічними впливами. Кожна така територія має певний рівень екологічної цілісності. Це можна розглядати як інтегральний показник, який реагує на зміни у природних, техногенних і соціальних підсистемах. І тоді можна чітко заявити, що об'єктом оцінювання є не окремі компоненти, а саме екологічна цілісність території як системна властивість. Після цього вже логічно розкласти цілісність на складові, наприклад, природну, техногенну, функціональну, соціально-екологічну, і кожну розглядати через свої показники. Тоді «екологічну цілісність території» можна представити як інтегральну властивість, що відображає взаємопов'язаність природних, техногенних і соціально-економічних компонентів, які разом утворюють єдину систему, що здатна зберігати свої функції, стійкість і потенціал розвитку. Об'єктом оцінювання тоді виступає не окремий елемент, а територія як інтегрована система. В свою чергу, інтегральний показник цілісності можна подати як зважену суму нормованих часткових індикаторів з ваговими коефіцієнтами. які пояснюють збереження чи втрату цієї цілісності, або, іншими словами, рівень «хвороби організму»

Аналогія «територія = організм» широко зустрічається в екології (наприклад, у концепціях екосистем, ландшафтної екології та навіть у гіпотезі Геї Джеймса Лавлока і Лінна Маргуліса).

Натомість новим може бути поняття «екологічне ціле території» як функціональної одиниці, подібної до органу в організмі. Екологічне ціле – це така ділянка території, всередині якої природні, історичні та соціальні процеси настільки взаємопов'язані, що вона функціонує як єдина система і не може бути довільно розділена без втрати своїх властивостей.

Ознаками екологічного цілого території є такі характеристики:

– *просторова цілісність* – його межі визначаються не адміністративними кордонами, а формуються літосферними особливостями: вододілами, долинами, хребтами, виходами порід, природними бар'єрами;

– *функціональна єдність* – усі процеси в цьому ланцюгу взаємозалежні та поєднані, наприклад: ліс → джерела → струмки → річка → луки → поселення → сільське господарство;

– *історична спадковість* – одне покоління людей не створює екологічне ціле, воно формується протягом тривалого історичного періоду (століттями чи тисячоліттями). Саме тому часто збігаються природні центри, археологічні пам'ятки, історичні міста, що підтверджується археологічними дослідженнями;

– *саморегуляція* – подібно до органа в організмі територія прагне підтримувати певну рівновагу в природі. Наприклад, ліс регулює воду, температуру, вітри, ерозію;

– *обмін* – орган не є ізольованим в організмі і так само й екологічне ціле. Воно обмінюється водою, видами, людьми, енергією, інформацією із сусідніми територіями;

– *межі* – кожен орган має свою оболонку. У території також повинна бути оболонка, не фізична, а функціональна. Її можна визначати, наприклад, через різку зміну рельєфу, зміну водного басейну, зміну біоти, зміну історичного освоєння та ін.;

– *призначення* – кожному органу властива своя функція, наприклад, серце качає кров, легені забезпечують газообмін тощо. Розглядаючи за аналогією, кожне екологічне ціле території також має свою власну функцію. Звідси виникає нова ієрархія: біосфера → екорегіони → екологічні цілі → ландшафти → урочища → екотопи.

Як анатомія описує будову організму, так фізіологія описує процеси, що відбуваються в ньому. Для описання процесів в нашій системі потрібна екологічна фізіологія. У такій моделі кожен орган має не лише власну функцію, але й обмінюється потоками з іншими органами.

Ці потоки можна поділити на п'ять типів:

1. *Потоки речовини:* вода, осади, поживні елементи, органічна речовина.
2. *Потоки енергії:* сонячна енергія, тепло, біологічна продуктивність.
3. *Потоки живих організмів:* міграція тварин, поширення насіння, переміщення мікроорганізмів.
4. *Потоки інформації:* сигнали в екосистемах, людські знання, традиції, культурні практики.
5. *Потоки діяльності людини:* транспорт, торгівля, рекреація, управління.

Це дозволяє класифікувати органи не лише за будовою, але й за їхньою роллю у функціонуванні території. Отже, в цій системі можна виділити такі функціональні типи:

– *генератори* – формують нові ресурси або процеси (ліси, болота, продуктивні заплави);

– *трансформатори* – змінюють властивості потоків (дельти, пороги, водно-болотні угіддя);

– *накопичувачі* – зберігають ресурси або інформацію (озера, ґрунти, торфовища, культурні ландшафти);

– *розподільники* – спрямовують потоки в різні частини системи (водорозділи, транспортні вузли, гирла);

– *буфери* – пом'якшують зовнішні впливи та підвищують стійкість системи (лісосмуги, плавні, прибережні смуги);

– *регулятори* – координують взаємодію інших органів. У природі це можуть бути великі річкові системи чи ключові водно-болотні комплекси, а в соціально-екологічній підсистемі такими регуляторами виступають великі міста чи центри управління.

Такий підхід має ще одну перевагу – він не потребує припущення про існування невідомих фізичних полів чи «силових ліній». Основою стають реальні взаємозв'язки між геологічними, гідрологічними, біологічними та культурними процесами. Завдяки цьому модель природокористування можна не лише використовувати як концептуальну основу, але й перевіряти за допомогою ГІС, екологічного моніторингу, археологічних карт та інших даних про просторові потоки. Таким чином концепція «екологічного цілого території» буде придатною для сучасного територіального планування та екологізації технологій природокористування.

ЖАРОВА Л. (УКРАЇНА, КИЇВ)

МЕНЕДЖМЕНТ СТАЛОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Національний університет «Києво-Могилянська академія»,
Школа професійної та неперервної освіти kma·pro
вул. Григорія Сковороди, 2, м. Київ, 04655, Україна, l.zharova@ukma.edu.ua

Abstract. The paper examines the management of sustainable recovery of Ukraine's temporarily occupied territories, understood as the harmonization of security and social priorities with economic growth in line with sustainable development principles. Sustainable recovery is presented as a four-stage process: restoration of critical infrastructure, revival of economic potential, restoration of social stability and environmental security, and the formation of a territorial system of "point growth" integrated into the international division of labour. Reintegration requires not only governance and institutional implementation but also the formation of a self-sufficient regional development model. Four distinct models are proposed for Crimea, Donbas, the South, and the border regions. The balance of interests underlying reintegration management rests on management efficiency and a competitiveness-recovery strategy, with sustainable development treated as a strategic outcome rather than a sequence of individual goals.

Стале відновлення тимчасово окупованих територій (ТОТ) України передбачає, з урахуванням принципів та цілей сталого розвитку, досягнення гармонійного та ефективного поєднання безпекових і соціальних пріоритетів з економічним зростанням. Реалізація сталого відновлення відбувається у декілька послідовних етапів: 1) відновлення критичної інфраструктури; 2) відновлення економічного потенціалу; 3) відновлення соціальної стабільності та забезпечення екологічної безпеки; 4) відновлення/створення територіальної системи «точкового зростання» та визначення місця регіону в міжнародному поділі праці.

Особливого значення на етапі відновлення соціальної стабільності та забезпечення екологічної безпеки набуває гармонізація національного екологічного законодавства з правом ЄС у межах Глави 27 acquis communautaire. Наближення регуляторних вимог до довкілля, води, повітря, поводження з відходами та промислових викидів створює інституційну основу для відновлення екологічної безпеки ТОТ на сталих засадах, а не лише для усунення наслідків руйнувань. Впровадження Глави 27 доцільно розглядати не як окрему технічну умову вступу до ЄС, а як інструмент, що безпосередньо забезпечує довгострокову конкурентоспроможність і інвестиційну привабливість реінтегрованих територій, узгоджуючи їхній розвиток із загальноєвропейськими стандартами сталості.

Реінтеграція ТОТ не обмежується запровадженням урядування та імплементацією українських інституцій, а передбачає набуття територією самодостатньої моделі регіонального розвитку – тобто формування ефективного, безпечного та сталого регіону, привабливого для проживання. На практиці це вимагає розроблення різних форм і моделей реінтеграції для кожної з категорій ТОТ України: першої моделі – для Криму; другої – для Донбасу; третьої – для Півдня; четвертої – для прикордоння.

Баланс інтересів у процесі реінтеграції має досягатися шляхом запровадження спеціального режиму управління та урядування. В основі цього балансу лежать ефективність менеджменту та стратегія відновлення конкурентоспроможності регіону. Ефективність менеджменту, своєю чергою, спирається на застосування методів та інструментів, адаптованих під конкретні задачі і таких, що мають досяжні умови реалізації. Задачі мають визначені пріоритети та план дій, розроблений з урахуванням альтернативних варіантів розвитку подій і передбачає оцінювання проміжних результатів. Сталий розвиток у цьому процесі виступає стратегічним результатом, а не простою послідовністю досягнення окремих цілей сталого розвитку чи їх частин.

Висновок. Менеджмент сталої реінтеграції ТОТ України є стратегією, що передбачає: досягнення консенсусу та балансу інтересів; планування реалізації стратегії; відповідальність та моніторинг виконання плану реалізації; міжнародну підтримку, яка має проявлятися не лише у наданні ресурсів, а й у формуванні системи гарантування результатів через політичні механізми та прозорість. Кожен регіон має сформувати власну стратегію реінтеграції та власне бачення реалізації менеджменту реінтеграції.

Список літератури:

[1] Zharova, L., Khlobystov, I. (2025). Reintegration of temporarily occupied territories of Ukraine based on sustainability. Актуальні питання економічних наук / Current Issues of Economic Sciences, (17). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17846453

[2] Жарова, Любов. 2025. «Від традицій до гнучкості: інструменти менеджменту у VUCA-реальності». Empirio 2 (Special Issue):116-27. https://doi.org/10.18523/3041-1718.2025.2.s.116-127. DOI: https://doi.org/10.18523/3041-1718.2025.2.s.116-127

ВОЛОШИН В.С.[1], ТКАЛЕНКО І.А.[2] (УКРАЇНА, ДНІПРО; ЧЕХІЯ, ПРАГА)

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВТОРИННОЇ РЕСУРСНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ СУЧАСНОЇ ВОДНЕВОЇ ТА ВУГЛЕЦЕВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

[1]Приазовський державний технічний університет
49044, Україна, м. Дніпро, вул. Гоголя, 29, e-mail: vsvlshn52@gmail.com
[2]Компанія AMCOM Engineering s,r,o. (Прага, Чехія). e-mail: ilt.amcom@gmail.com

Abstract. It is shown that the transition to hydrogen technologies changes the nature of metallurgical waste: the share of traditional slag materials decreases and the amount of highly metallized dusts, sludges and fine residues increases. The proposed SIRI criterion allows for a comprehensive assessment of metallurgical waste regardless of its origin and creates the basis for the transition from the classification of waste by source of generation to classification by resource suitability within the framework of the concept of "Waste → Secondary Iron Resource" and circular metallurgy systems.

Метою роботи є розроблення інтегрального критерію Secondary Iron Resource Index (SIRI) для комплексного оцінювання ресурсної придатності відходів вуглецевої та водневої металургії як вторинних залізовмісних ресурсів на основі сукупності їхніх металургійних, технологічних, ексергетичних та екологічних характеристик. Системні властивості металургійних відходів, які визначають можливості їхнього використання за призначенням, визначаються за такими показниками (табл. 1).

Таблиця 1

Методологічні дані для розрахунку індикаторів якості металургійних відходів за афіліацією

Найменування властивостей і позначення у формулі	Формула
1. Ступінь металізації заліза у відході. Тут: Fe^0 — вміст металевого заліза у відході, мас. % або кг/т; FeO — вміст заліза у складі оксиду заліза(II), мас. %; коефіцієнт **0,5** враховує проміжний ступінь відновлення заліза в оксиді Fe; Fe_{total} — загальний вміст заліза у відході в усіх його формах ($Fe^0, FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3$ тощо), мас. %.	$M = \frac{Fe^0 + 0{,}5FeO}{Fe_{total}}$
2. Індекс металургійної чистоти відходу. Тут: Z — індекс забрудненості відходу шкідливими домішками, частка одиниці; S — вміст сірки, мас. %; P — вміст фосфору, мас. %; Zn — вміст цинку, мас. %; Pb — вміст свинцю, мас. %; Cu — вміст міді, мас. %; … — інші небажані домішки (As, Sn, Cr, Ni, лужні компоненти та ін.); L — гранично допустимий сумарний вміст домішок для конкретної технології рециклінгу, мас. %; CL — показник чистоти (*cleanliness*) відходу за вмістом шкідливих домішок.	$Z = (S + P + Zn + Pb + Cu + \cdots)/L$ $CL = 1 - Z$
3. Реакційна здатність відходу. Тут: R — індекс реакційної здатності відходу, частка одиниці; SSA (Specific Surface Area) — фактична питома поверхня відходу, м²/г або м²/кг; SSA_{ref}— еталонна (максимально розвинена) питома поверхня серед матеріалів, що розглядаються, або нормативне значення для високореакційного матеріалу, м²/г або м²/кг.	$R = \frac{SSA}{SSA_{ref}}$
4. Ексергетична віддаленість процесу перероблення відходу. Тут: E — індекс ексергетичної близькості відходу до металу-ргійного циклу, частка одиниці; ΔG_{reg} — питомі енергетичні витрати (або зміна вільної енергії Гіббса), необхідні для підго-товки та повернення відходу до технологічного циклу, МДж/т або ГДж/т; ΔG_{ore} — питомі енергетичні витрати (або зміна вільної енергії Гіббса), необхідні для відновлення первинної залізної руди до аналогічного стану, МДж/т або ГДж/т.	$E = 1 - \frac{\Delta G_{reg}}{\Delta G_{ore}}$.
5. Сумісність відходу з технологічним циклом водневої мета--лургії. Тут: *H — індекс сумісності відходу з технологіями вод-невої металургії, частка одиниці; CO_2 — питомі викиди діоксиду вуглецю під час рециклінгу відповідного відходу, кг CO_2/т мате-ріалу або кг CO_2/т Fe; $CO_{2,max}$ — максимально допустимі або найгірші серед розглянутих технологій* викиди CO_2, прийняті як базове значення для нормування, кг CO_2/т матеріалу або кг CO_2/т Fe.	$H = 1 - \frac{CO_2}{CO_{2,max}}$

Назвемо інтегральним критерієм, який відображає п'ять властивостей, визначених для металургійного відходу, показник Secondary Iron Resource Index (SIRI), який пропонується визначати за формулою:

$$SIRI = \alpha_1 M + \alpha_2 C + \alpha_3 R + \alpha_4 E + \alpha_5 H \qquad (1)$$

Для сукупності металургійних відходів вагові коефіцієнти пропонуються встановити в таких значеннях: $\alpha_1 = 0{,}3;\ \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0{,}2;\ \alpha_5 = 0{,}1$. Діапазон значень критерію $0 \le SIRI \le 1$. Розрахункові значення основних показників алгоритму, запропонованого в методиці, а також обґрунтування, необхідні для аналізу кожного з розглянутих видів металургійних відходів, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Класифікація деяких металургійних відходів за показником SIRI

Показник	Значення	Назва та характеристика відходу	SIRI
DRI-пил (воднева відновлення)			
M	0,85	Утворюється при стиранні металізованих окатишів DRI; залізо представлено переважно у вигляді Fe^0 та FeO, тому ступінь металізації є дуже високим	0,91
CL	0,95	Відсутні продукти коксування та доменного процесу; мінімальні концентрації S, P, Zn, Pb, Cu.	
R	0,90	Частинки дрібні та пористі, успадковують розвинену структуру DRI, що забезпечує високу швидкість відновлення/плавлення.	
E	0,90	Залізо вже пройшло основну стадію відновлення; для пове-рнення в цикл потрібні мінімальні енергетичні витрати.	
H	0,95	Може безпосередньо повертатися до H_2-DRI-процесів без порушення низьковуглецевої схеми виробництва.	
Конвертерный шлам (BOF)			
M	0,45	Залізо присутнє у вигляді Fe^0, FeO та Fe_3O_4, однак переважають окиснені форми.	0,59
CL	0.70	Накопичує фосфор, цинк, свинець та інші елементи, що циркулюють у киснево-конвертерному процесі.	
R	0,75	Дрібнодисперсність забезпечує задовільну реакційну здатність, однак щільні оксиди її обмежують	
E	0,65	Для повернення в металургійний цикл потрібне додаткове відновлення заліза.	
H	0,40	Пов’язаний із вуглецевою металургією та має значний вуглецевий слід.	

На підставі отриманих результатів концепцію «*Waste → Secondary Iron Resource*» можна сформулювати таким чином: *Металургійний відхід слід розглядати не як втрату, а як Secondary Iron Resource, якщо його інтегральний індекс ресурсної придатності SIRI ≥ 0,65 (оцінково, з уточненнями) і він забезпечує повернення заліза до металургійного циклу з меншими ексергетичними витратами, ніж витрати на підготовку первинної залізорудної сировини.*

Такий підхід переводить класифікацію відходів від критерію їхнього походження («водневі» або «вуглецеві») до критерію ресурсної цінності та ексергетичної наближеності до залізовмісного технологічного циклу, що становить наукову основу концепції «*Waste → Secondary Iron Resource*».

Розвиток концепції «*Waste → Secondary Iron Resource*» забезпечує перехід від традиційного підходу, орієнтованого на утилізацію відходів, до управління замкнутими потоками залізовмісних матеріалів у межах циркулярної металургії. Такий підхід формує наукову основу для інтеграції відходів вуглецевої та водневої металургії в єдині системи рециклінгу.

СКОК П.О., СОТНИК Ю.П. (УКРАЇНА, КИЇВ)

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ SMART-WOOD УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Навчально-науковий інститут управління, технологій та правових наук, Національний транспортний університет; 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1; contact.point@email.ua

Abstract. Woodworking enterprises operate at the intersection of resource use, industrial production, environmental responsibility and market competition. The study develops a conceptual SMART-WOOD model that treats competitiveness as an adaptive result of coordinated technological, economic, environmental and organizational decisions. The model combines assessment of internal capabilities and external conditions with digital information support, innovation, resource efficiency, ESG principles and risk management. Its distinctive feature is a feedback-based management cycle in which monitoring results are used to revise priorities and select further actions. The proposed framework can support more efficient use of wood and energy resources, reduction of production losses and environmental pressures, and strengthening of enterprise resilience. Further work should focus on developing measurable indicators and testing the model at Ukrainian woodworking enterprises.

Деревообробне підприємство одночасно є виробничою, економічною та ресурсною системою, тому його результативність не може оцінюватися лише за обсягом випуску або фінансовими показниками. Зміни вартості сировини й енергії, вимог до походження деревини, логістичних умов, технологій та ринкового попиту безпосередньо впливають на можливості підприємства конкурувати. Водночас рішення щодо технології виробництва визначають обсяг використаних матеріалів, енергії та утворених залишків [1]. Отже, економічна стійкість і екологічна результативність у цьому випадку мають розглядатися у взаємозв'язку.

Метою роботи є формування концептуальної моделі SMART-WOOD для управління конкурентоспроможністю деревообробних підприємств з урахуванням вимог сталого розвитку. В основу дослідження покладено системне представлення підприємства та його середовища, за якого управлінське рішення формується на основі сукупності взаємопов'язаних параметрів, а отриманий результат використовується для подальшого коригування дій.

Побудова моделі розпочинається з розмежування чинників, які перебувають під безпосереднім впливом підприємства, і чинників зовнішнього середовища. До першої групи належать технологічний рівень виробництва, стан ресурсної бази, фінансові можливості, кадрове забезпечення, інноваційний потенціал та організація управління. Друга група охоплює стан ринку, нормативно-правові вимоги, технологічні зміни, екологічні обмеження, доступність ресурсів та ризики зовнішнього середовища. Таке розмежування необхідне для того, щоб відрізнити проблеми, які можуть бути усунені внутрішніми заходами, від умов, до яких підприємство має пристосовуватися.

Наступним елементом SMART-WOOD є інформаційне забезпечення управління. Цифрові інструменти в моделі використовуються для отримання та зіставлення даних про виробничі операції, витрати матеріалів і енергії, якість продукції, утворення залишків та економічні результати. Важливим є не саме впровадження цифрової технології, а її здатність скоротити часовий розрив між виникненням проблеми, її виявленням та прийняттям рішення. За такого підходу цифровізація стає засобом підвищення керованості виробничої системи.

Окремий блок моделі становить інноваційний розвиток. Для деревообробного підприємства інновація може бути пов'язана не тільки з придбанням нового обладнання, а й зі зміною технологічної послідовності, кращим використанням сировини, удосконаленням організації виробництва або застосуванням цифрових засобів контролю. Вибір напряму інновацій має здійснюватися з урахуванням очікуваного економічного результату, ресурсних потреб та впливу на довкілля.

Ресурсоефективність у SMART-WOOD розглядається як одна з точок перетину економічної та екологічної складових. Для підприємства важливими є не тільки кількість закупленої деревини, а й частка сировини, яка переходить у готову продукцію, питомі витрати енергії, обсяги побічних продуктів і можливості їх подальшого використання. Зменшення втрат сировини та повернення частини матеріальних потоків у виробництво або суміжні процеси дають змогу одночасно знижувати

витрати й обмежувати утворення відходів. Саме тому ресурсоефективність доцільно пов'язувати з принципами циркулярної біоекономіки.

Екологічний компонент моделі передбачає включення природоохоронних параметрів до загальної системи оцінювання управлінських рішень. Зокрема, можуть аналізуватися енергоспоживання, матеріаломісткість, утворення відходів та ефективність використання побічної деревної продукції. Такий підхід змінює логіку управління: екологічний показник не залишається окремою характеристикою діяльності підприємства, а враховується разом із витратами, продуктивністю та якістю.

ESG-компонента доповнює модель соціальними та управлінськими аспектами. Вона охоплює відповідальність підприємства перед працівниками та іншими зацікавленими сторонами, прозорість управлінських процедур, дотримання встановлених вимог і відповідальне ставлення до ресурсної бази. Для деревообробної галузі це має значення також у контексті підтвердження походження сировини та відповідності продукції вимогам ринку.

Ще одним складником SMART-WOOD є ризик-менеджмент. Його завданням є врахування невизначеності під час вибору напряму розвитку. Ризики можуть стосуватися постачання деревної сировини, енергоресурсів, логістики, попиту, кадрового забезпечення, зміни нормативних вимог або доступності технологій. Включення ризиків до процесу прийняття рішень дозволяє порівнювати не лише очікуваний ефект альтернативи, а й умови, за яких цей ефект може бути втрачений.

Узгодження зазначених складових здійснюється через адаптивний управлінський цикл. Його послідовність можна представити як: визначення поточного стану підприємства → аналіз чинників середовища → встановлення проблем і можливостей → формування пріоритетів → вибір та реалізація заходів → оцінювання отриманого результату → уточнення наступних управлінських дій. Принциповою особливістю є наявність зворотного зв'язку: оцінювання результатів не завершує процес, а запускає його наступну ітерацію.

Запропонована структура дає можливість застосовувати SMART-WOOD як основу для подальшої кількісної оцінки. Для кожного підприємства можуть бути визначені показники технологічної, ресурсної, економічної та екологічної результативності, після чого встановлюються цільові значення та критичні відхилення. Це створює передумови для переходу від загальної концепції до інструменту підтримки управлінських рішень.

Таким чином, SMART-WOOD формує цілісне бачення конкурентоспроможності деревообробного підприємства, у якому економічна результативність поєднується з ресурсоефективністю, екологічною відповідальністю, цифровою підтримкою та здатністю реагувати на ризики. Практичне значення моделі полягає у можливості використовувати її як рамку для визначення пріоритетів модернізації та оцінювання узгодженості управлінських рішень із принципами сталого розвитку. Подальший етап дослідження передбачає розроблення системи кількісних індикаторів SMART-WOOD та її апробацію на підприємствах деревообробної промисловості України.

Список літератури:

1. Дунська, А. Р., & Бурлінгас-Оплаканець, С. В. (2025). Аналіз особливостей інноваційного розвитку світової деревообробної промисловості та їх вплив на експортну діяльність. Підприємництво та інновації, (37), 139–146. https://doi.org/10.32782/2415-3583/37.19

БРУММ Д.В., КАЛЮЖНА Ю.С. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВТОРИННОГО ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ ШЛЯХОМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ТА ЗНИЖЕННЯ МІГРАЦІЇ ПЛАСТИФІКАТОРІВ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
61002, вул. Ярослава Мудрого 25, Харків, Україна; admin@khadi.kharkov.ua

Abstract. The paper considers technological modification of recycled polyvinyl chloride (PVC) to improve environmental safety and reduce plasticizer migration. The approach combines polymer stabilization with partial replacement of phthalate plasticizers by lower-migration alternatives, particularly epoxidized soybean oil (ESBO) and citrate-based plasticizers, with plasticizer migration, mass loss, mechanical properties and thermal stability proposed as key evaluation indicators.

Розвиток циркулярної економіки та перехід до ресурсоефективних моделей виробництва зумовлюють необхідність удосконалення технологій перероблення полімерних відходів і повторного залучення вторинної сировини у виробничі цикли. Особливу увагу привертає вторинний полівінілхлорид (ПВХ), який широко застосовується у виробництві будівельних матеріалів, труб, профілів, кабельної продукції, покриттів та інших виробів. Водночас склад ПВХ-відходів є неоднорідним і може включати полімерну матрицю, пластифікатори, стабілізатори, пігменти та інші функціональні добавки. Тому повторне використання ПВХ потребує контролю не лише його фізико-механічних властивостей, а й хімічного складу та потенційної екологічної небезпеки компонентів, що можуть переходити у навколишнє середовище.

Технологічний процес перероблення ПВХ може включати сортування, подрібнення, термічну стабілізацію та екструзію. Однією з основних проблем повторної термічної переробки є чутливість ПВХ до нагрівання, що супроводжується процесами дегідрохлорування з утворенням хлороводню та розвитком термодеструкції полімерної матриці. Для підвищення термостабільності застосовують стабілізуючі системи, зокрема на основі сполук кальцію та цинку, які сприяють зниженню інтенсивності термічної деструкції. Однак така стабілізація не усуває проблему залишкових низькомолекулярних компонентів, зокрема пластифікаторів, що можуть зберігатися у вторинній сировині після попередньої експлуатації.

Однією з ключових проблем екологічної безпеки вторинного ПВХ є наявність та міграція фталатних пластифікаторів. Інтенсивність їх переходу в контактне середовище залежить від концентрації та природи пластифікатора, його сумісності з полімерною матрицею, структури матеріалу, температури, тривалості та умов контакту. Тому оцінювання екологічної безпеки вторинного ПВХ доцільно здійснювати не лише за вмістом потенційно небезпечних компонентів, а й з урахуванням їхньої міграційної поведінки. Використання DINP не може розглядатися як повна альтернатива фталатним пластифікаторам, оскільки він також належить до цієї групи. Перспективним напрямом є часткова або повна заміна традиційних фталатних пластифікаторів альтернативними компонентами, зокрема епоксидованою соєвою олією (ESBO) та пластифікаторами на основі цитратів.

Важливим аспектом є те, що міграція пластифікаторів визначається не лише їх концентрацією у матеріалі, а й особливостями взаємодії з полімерною матрицею. Зниження рухливості низькомолекулярних компонентів може обмежувати їх дифузію до поверхні матеріалу та подальший перехід у контактне середовище. На цей процес впливають ступінь сумісності пластифікатора з ПВХ, структура полімерної матриці, температура переробки та експлуатації, а також характер контактного середовища. Тому перспективним напрямом є технологічне регулювання структури вторинного ПВХ, спрямоване на підвищення стабільності полімерної системи та зменшення рухливості потенційно небезпечних компонентів.

Комплексне підвищення екологічної безпеки вторинного ПВХ доцільно розглядати як поєднання декількох технологічних заходів: стабілізації полімерної матриці, оптимізації складу пластифікаторів та зниження їх міграційної активності. Такий підхід дає змогу одночасно впливати на термічну стабільність матеріалу, його фізико-механічні властивості та потенційну міграцію низькомолекулярних компонентів. Для подальшого експериментального оцінювання доцільно використовувати комплекс показників, що включає міграцію пластифікаторів, зміну маси зразків, механічні характеристики та термічну стабільність залежно від складу композиції й умов експлуатації.

ESBO може виконувати функцію вторинного пластифікатора та сприяти стабілізації ПВХ завдяки здатності взаємодіяти з хлороводнем, що утворюється під час термічної деструкції полімеру.

Цитратні пластифікатори розглядаються як альтернатива ортофталатним сполукам, однак їх застосування також потребує оцінювання сумісності з полімерною матрицею та міграційних характеристик. Таким чином, перспективним є поєднання заміни або часткового заміщення традиційних фталатів зі структурною модифікацією полімерної матриці, спрямованою на зниження рухливості низькомолекулярних компонентів. Такий комплексний підхід дозволяє перейти від простого повторного використання ПВХ-відходів до отримання вторинного матеріалу з більш контрольованим хімічним складом, підвищеною стабільністю та прогнозованою міграційною поведінкою. Основні технологічні напрями підвищення екологічної безпеки вторинного ПВХ наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння основних напрямів підвищення екологічної безпеки вторинного ПВХ

Технологічний напрям	Мета	Перевага	Обмеження
Повторна переробка	Отримання вторинного ПВХ	Простота	Неконтрольований склад і міграція компонентів
Ca/Zn-стабілізація	Підвищення термостабільності	Зменшення термодеструкції	Не усуває пластифікатори
Додавання DINP	Підвищення гнучкості	Покращення еластичності	Зберігається фталатна складова
Заміна фталатів	Зниження фталатного навантаження	Безпечніша композиція	Потребує оцінки сумісності та міграції
ESBO	Пластифікація і стабілізація	Біооснова, зв'язування HCl	Потребує оптимізації концентрації
Цитратні пластифікатори	Альтернативна пластифікація	Не містять ортофталатної структури	Потребують оцінки міграції
Модифікація матриці	Зниження рухливості пластифікатора	Потенційне зменшення міграції	Технологічна складність
Комбінована модифікація	Комплексне підвищення безпеки	Поєднання кількох ефектів	Потребує оптимізації складу

Перспективним є поєднання двох взаємопов'язаних підходів: зменшення концентрації небажаних пластифікаторів та одночасне обмеження їхньої рухливості в полімерній матриці. Така технологічна концепція передбачає використання стабілізуючих компонентів, альтернативних пластифікаторів та методів структурної модифікації ПВХ, здатних впливати на дифузійні властивості полімерної системи.

Наукова ідея запропонованого підходу полягає у поєднанні зниження концентрації потенційно небезпечних низькомолекулярних компонентів із технологічним обмеженням їхньої міграції в полімерній матриці. Це дозволяє розглядати екологічну безпеку вторинного ПВХ не лише через його хімічний склад, а й через прогнозовану міграційну поведінку матеріалу.

Для подальшого експериментального дослідження доцільно оцінювати міграцію пластифікаторів, зміну маси зразків, механічні характеристики та термічну стабільність модифікованого вторинного ПВХ залежно від складу композиції, температури та умов контакту з модельним середовищем. Особливу увагу доцільно приділити встановленню кінетики міграції та визначенню взаємозв'язку між складом полімерної композиції, структурою матриці та інтенсивністю переходу низькомолекулярних компонентів у контактне середовище.

Таким чином, технологічна модифікація вторинного ПВХ із частковою або повною заміною традиційних фталатних пластифікаторів та регулюванням структури полімерної матриці є перспективним напрямом підвищення екологічної безпеки, що створює основу для отримання матеріалу з контрольованішим хімічним складом, підвищеною стабільністю та прогнозованою міграційною поведінкою; його використання у виробах із підвищеними вимогами до хімічної безпеки потребує додаткового підтвердження складу, міграційних і токсикологічних характеристик та відповідності нормативним вимогам.

Список літератури:

1. Ма Ю., Ляо С., Лі Ц., Гуань Ц., Цзя П., Чжоу Й. Фізична та хімічна модифікація матеріалів на основі полівінілхлориду для запобігання міграції пластифікаторів. Reactive and Functional Polymers. 2020. Т. 147. Стаття 104458.

2. Де Брюйне А., Сердан Гомес К., О'Рурк Г., Стьойк В., Лейндерс Я., Денайєр М., Векеман Я., Де Профт Ф., Ван Пюйвелде П., Де Вос Д. Оцінювання зелених пластифікаторів на біооснові для полівінілхлориду: сталий розвиток, термічна поведінка, механічні властивості та довговічність. ACS Applied Polymer Materials. 2024. Т. 6, № 11. С. 6831–6842.

RANSKIY A.[1], DURAS Y.[2] (UKRAINE, VINNYTSIA, LVIV)

TECHNOLOGICAL AND INDUSTRIAL ASPECTS OF APPLIED NANOTECHNOLOGY

[1] Vinnytsia National Technical University,
21021, 95 Khmelnytske Shose, Vinnytsia, Ukraine; ranskiy@gmail.com
[2] Ivan Franko National University of Lviv,
79000, 14 Sichovykh Striltsiv Street, Lviv, Ukraine;

Abstract. This paper examines the current technological and industrial aspects of the research, production and application of nanomaterials. It is demonstrated that the latest scientific research into the synthesis, structure and functionalization of nanomaterials is a logical continuation of previous research in engineering chemistry.

In recent decades, nanomaterials have come to occupy a broad industrial and technological segment in the production of materials with extraordinary properties, which are used as catalysts, functional coatings, adsorbents, sensors and drug delivery systems. Until recently, such scientific developments were presented in a number of papers as temporary ideas lacking key priorities and practical significance, particularly in the fields of energy, medicine and ecology. However, the fallacy of such claims is now evident and can be clearly demonstrated by the general diagram shown in the figure.

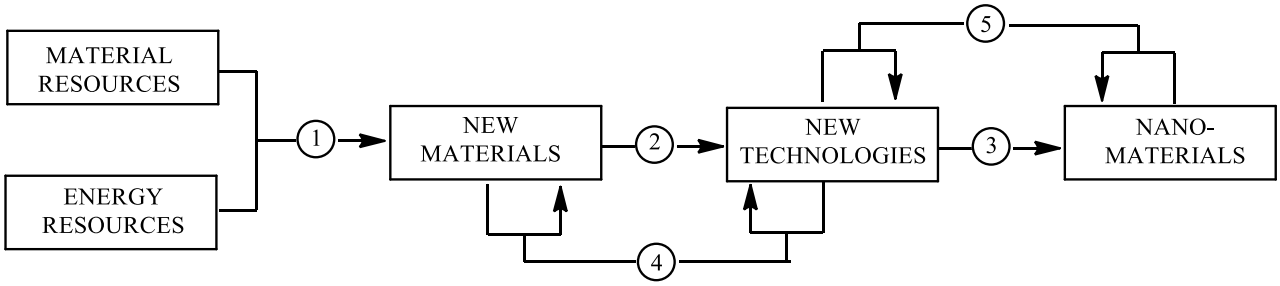


Fig. 1. General diagram of technical/technological solutions for the production of modern nanomaterials.

Indeed, the world's leading economies (the USA, China) are already experiencing shortages of certain material resources (lithium, uranium and transuranic elements, rare-earth) and anticipate a shortage of energy resources (oil, gas, coal, synthetic hydrogen) in the near future, which is a decisive factor in their state policy, economic, industrial and scientific activities. A critical analysis of the interrelationships shown in the figure allows us to draw the following important conclusions:

- the limited nature of global material and energy resources has spurred the rapid development of new energy- and material-saving technologies in virtually all industrial sectors: mechanical engineering (machine, ship and aircraft building, space technology); nuclear energy; materials science and tribology; catalysis in chemical production; medicine and ecology. Modern technologies and end products are less energy- and material-intensive; they are lighter in weight and more durable, and also have a longer service life;

- to implement the strategic chain: new materials (1) → new technologies (2) → nanomaterials (3), the USA, Japan, China and Germany have been investing heavily in the development of the nanotechnology sector since 2000;

- the synthesis of nanomaterials (3) is a logical continuation of previously obtained new materials (1) and newly developed technologies (2), utilizing the latest scientific and technological advances in chemical engineering.

Clearly, future cutting-edge research in the field of nanotechnology will focus on refining synthesis methods, investigating the structure of the resulting nanostructures, and their functionalization in the energy, electronics, healthcare and environmental sectors.

ЗАХАРКО Я.М., СЛЮСАР В.Т., ПОПОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТОВОЇ РОДЮЧОСТІ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛАНДШАФТІВ

Національний університет «Львівська політехніка»
79000, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; vira.t.sliusar@lpnu.ua

Abstract Organic waste composting is a promising approach to nutrient recycling, soil fertility restoration, and sustainable landscape management. The paper summarizes recent research on the use of compost and other organic amendments for improving soil organic matter, nutrient availability, and soil biological properties. Particular attention is paid to municipal and agricultural organic waste, compost quality, and the need to control potential environmental risks. The use of compost within circular resource management can simultaneously reduce the amount of biodegradable waste requiring disposal and return carbon and nutrients to soil ecosystems.

Ґрунтовий покрив є одним із ключових компонентів природних та антропогенно трансформованих ландшафтів. Він забезпечує продуктивність екосистем, регулювання водного режиму, накопичення органічного вуглецю та кругообіг біогенних елементів. Інтенсивне землекористування, ерозійні процеси, зменшення надходження органічної речовини та різні форми забруднення можуть призводити до погіршення фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунтів. Одночасно значні обсяги органічних відходів утворюються в сільському господарстві, харчовій промисловості, побуті та під час утримання зелених територій. Тому перетворення таких відходів на корисні продукти є важливим напрямом циркулярного природокористування.

Сучасні дослідження розглядають органічні відходи як вторинний ресурс для підтримання ґрунтової родючості та повернення вуглецю і поживних елементів у природний кругообіг. Компостування є одним із найбільш доступних способів такого перетворення. Це керований аеробний процес біологічного розкладання та стабілізації органічної речовини, результатом якого є компост, придатний для використання як органічне добриво або ґрунтовий меліорант [1]. Ефективність процесу визначається складом сировини, співвідношенням C/N, вологістю, температурою, доступом кисню, розміром частинок та іншими параметрами.

Під час компостування відбувається послідовне перетворення легкодоступних органічних сполук у більш стабільні форми органічної речовини. Важливе значення мають трансформації вуглецю та фосфору, оскільки вони визначають подальшу агрономічну цінність готового компосту. Сучасні огляди наголошують, що оцінювання зрілості компосту повинно враховувати фізичні, хімічні та біологічні показники, а оптимізація умов процесу дає змогу отримувати більш стабільний і безпечний продукт [1, 2].

Внесення компосту до ґрунту може сприяти збільшенню вмісту органічного вуглецю, поліпшенню структури ґрунту, підвищенню його буферної та водоутримувальної здатності й активізації біологічних процесів. Результати довготривалих досліджень свідчать, що систематичне застосування компосту може збільшувати вміст органічного вуглецю та азоту в ґрунті, а також впливати на мінералізацію азоту [3]. Моделювання та польові спостереження також показують, що регулярне внесення продуктів перероблення органічних відходів може збільшувати запаси ґрунтового вуглецю, причому компостовані матеріали характеризуються значним потенціалом його стабілізації [4].

Перспективним є використання компосту з органічної фракції муніципальних відходів. Такий підхід поєднує завдання поводження з відходами та відновлення ґрунтових ресурсів. Муніципальний компост може виконувати функцію ґрунтового поліпшувача, джерела органічної речовини та окремих поживних елементів, а його використання пов'язує міські потоки органічних відходів із потребами сільськогосподарських та інших ландшафтів [5]. Водночас склад такого компосту може істотно змінюватися залежно від якості вихідної сировини, технології сортування та умов компостування.

Важливою умовою безпечного застосування компосту є контроль його якості. Необхідно враховувати ступінь стабілізації органічної речовини, вологість, кислотність, вміст поживних елементів, а також можливу присутність важких металів, пластику та інших небажаних компонентів. Довготривалі дослідження показують, що компостування може забезпечувати позитивний ефект для ґрунту, але надмірне або незбалансоване внесення здатне призводити до накопичення окремих

поживних елементів та потенційно токсичних речовин [3, 5-6]. Отже, норми внесення мають визначатися з урахуванням властивостей як компосту, так і конкретного ґрунту.

Окрему увагу доцільно приділяти біологічній оцінці якості отриманого компосту. На відміну від визначення лише фізико-хімічних показників, біоіндикаційні методи дають змогу оцінити комплексний вплив продукту на живі організми та виявити можливі фітотоксичні ефекти. Використання рослинних тест-систем, ґрунтових мікроорганізмів та інших біологічних індикаторів може доповнювати лабораторний контроль і характеризувати ступінь екологічної безпечності компосту. Такий підхід є особливо актуальним для компостів, отриманих із різнорідних муніципальних та рослинних відходів, оскільки їхній склад може змінюватися залежно від походження сировини та умов перероблення. Поєднання фізико-хімічного аналізу з біологічним тестуванням дозволяє більш обґрунтовано визначати можливість подальшого використання компосту для відновлення ґрунтів, сільськогосподарських угідь та озеленення територій.

З позицій екології ландшафтів ґрунт доцільно розглядати як функціонально пов'язаний компонент системи, що взаємодіє з рослинністю, водами, атмосферою та діяльністю людини. Повернення органічної речовини у ґрунт може підтримувати кругообіг речовин, сприяти накопиченню органічного вуглецю та підвищувати здатність ґрунтової системи протистояти несприятливим впливам. Тому компостування органічних відходів є не лише технологією поводження з відходами, а й одним із практичних інструментів сталого управління ґрунтовими та ландшафтними ресурсами.

Таким чином, використання органічних відходів після їх біологічного перероблення є перспективним напрямом відновлення ґрунтової родючості та підвищення екологічної стійкості ландшафтів. Компостування дає змогу зменшити обсяги органічних відходів, повернути частину вуглецю та поживних елементів у ґрунтові екосистеми й одночасно створити корисний продукт для землеробства та озеленення. Важливим є комплексний контроль якості компосту із поєднанням фізико-хімічних, біологічних та екотоксикологічних показників. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише поживну цінність компосту, а й можливі ризики його застосування для ґрунтових екосистем. Подальші дослідження доцільно спрямовувати на комплексне оцінювання впливу різних видів компосту на фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунтів, а також на розроблення критеріїв його безпечного застосування в різних типах ландшафтів. Перспективним напрямом є також оптимізація складу органічної сировини та технологічних параметрів компостування для отримання стабільного продукту з прогнозованими властивостями та максимальною екологічною ефективністю.

Список літератури:

1. Xie, S., Tran, H.-T., Pu, M., & Zhang, T. (2023). Transformation characteristics of organic matter and phosphorus in composting processes of agricultural organic waste: Research trends. *Materials Science for Energy Technologies*, 6, 331–342. https://doi.org/10.1016/j.mset.2023.02.006

2. Badewa, E. A., Yeung, C. C., Whalen, J. K., & Oelbermann, M. (2023). Compost and biosolids increase long-term soil organic carbon stocks. *Canadian Journal of Soil Science*, 103(3), 279–290. https://doi.org/10.1139/cjss-2022-0104

3. Reimer, M., Kopp, C., Hartmann, T., Zimmermann, H., Ruser, R., Schulz, R., Müller, T., & Möller, K. (2023). Assessing long term effects of compost fertilization on soil fertility and nitrogen mineralization rate. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186(2), 217–233. https://doi.org/10.1002/jpln.202200270

4. Parton, W. J., Kelly, R. H., Hartman, M. D., Revallier, A., Bisinella de Faria, A. B., Naves-Maschietto, G., Orvain, M., Houot, S., Albuquerque, M., & Kech, S. (2023). Agricultural and municipal organic waste amendments to increase soil organic carbon: How much, how often, and to what end? *Soil Science Society of America Journal*, 87(4), 885–901. https://doi.org/10.1002/saj2.20529

5. Cao, X., Williams, P. N., Zhan, Y., Coughlin, S. A., McGrath, J. W., Chin, J. P., & Xu, Y. (2023). Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling. *Soil & Environmental Health*, 1(4), 100038. https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100038

6. Zhao, S., Schmidt, S., Gao, H., Li, T., Chen, X., Hou, Y., Chadwick, D., Tian, J., Dou, Z., Zhang, W., & Zhang, F. (2022). A precision compost strategy aligning composts and application methods with target crops and growth environments can increase global food production. *Nature Food*, 3, 741–752. https://doi.org/10.1038/s43016-022-00584-x

LEVCHUK R.S., KOCHUBEI V.V., FEDOROVA O.O.,
MYLYANYCH A.O. (UKRAINE, LVIV)

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF UTILIZING RESIDUES FROM HORSE CHESTNUT FRUIT PROCESSING FOR BIOFUEL PRODUCTION

Lviv Polytechnic National University
79013, S. Bandery Str. 12, Lviv, Ukraine; rustem.s.levchuk@lpnu.ua

Abstract. The study investigates the environmental and energetic potential of utilizing solid waste from horse chestnut (Aesculus hippocastanum) processing for biofuel applications. Crushed medicinal plant raw material (fruits), remaining as industrial waste from phytopharmaceutical manufacturing, represents a valuable lignocellulosic material. Extracting active compounds enriches the residual matrix with structural biopolymers, enhancing its thermal stability and calorific value. Pressing this biomass yields durable fuel briquettes without synthetic binders due to natural pectin compounds. Burning horse chestnut residues reduces industrial waste disposal, while the resulting low-heavy-metal ash serves as an eco-friendly mineral fertilizer rich in essential nutrients (Ca, K, Mg, P).

Introduction. The processing of horse chestnut (Aesculus hippocastanum) fruits – crushed medicinal plant raw material – in the pharmaceutical industry generates significant amounts of solid residues after extracting target active compounds. Disposing of these wastes in landfills creates an environmental burden and leads to the loss of valuable lignocellulosic biomass. Simultaneously, their comprehensive utilization as green biofuel reduces industrial pharmaceutical waste, promotes decarbonization of local energy systems, and supports the principles of a circular bioeconomy.

Materials and Methods. The object of research was solid residues of crushed medicinal plant material – horse chestnut fruits – remaining after water-ethanol extraction of bioactive substances during phytopharmaceutical production, as well as the initial raw material. Moisture and ash contents were determined by step-by-step calcination in a muffle furnace at 550 °C. The elemental composition of the ash was analyzed by X-ray fluorescence spectroscopy (ElvaX Light SDD). Thermal stability and degradation stages were studied using complex thermal analysis (TG, DTG, DTA on a Q-1500 derivatograph, 30–1000 °C, 5 °C/min in air). The higher heating value (calorific value) was measured using a B-06-MA bomb calorimeter with an isothermal jacket.

Results and Discussion. Thermal analysis revealed a multi-stage thermal degradation process of horse chestnut fruit biomass, encompassing moisture evaporation, decomposition of volatile organic compounds, thermolysis of the cellulose-lignin matrix, and subsequent combustion of carbon residue. Due to the removal of extractable substances during pharmaceutical processing, the extracted residue exhibits enhanced thermal stability compared to the initial raw material, with its main degradation peak shifting toward higher temperatures. Furthermore, relative enrichment with structural biopolymers (cellulose and lignin) leads to a noticeable increase in the calorific value of the extracted biomass.

The presence of natural pectins in the crushed plant raw material enables direct hydraulic pressing of dry horse chestnut residue into dense, durable fuel briquettes without any synthetic or toxic binders. This guarantees complete environmental safety during biofuel storage and combustion. Additionally, elemental analysis of the mineral residue confirmed a high content of biophilic elements (calcium, potassium, magnesium, and phosphorus) alongside the absence of toxic heavy metal concentrations. Consequently, the ash resulting from briquette combustion can be utilized as an environmentally safe mineral fertilizer for soil enrichment, establishing a zero-waste recycling cycle.

Conclusions. Solid residues from the pharmaceutical processing of crushed horse chestnut fruits represent a valuable resource for green bioenergy. The extraction of active substances enhances the calorific value and thermal stability of the biomass, while natural pectins allow for the production of high-quality fuel briquettes without chemical additives. Dual-purpose waste utilization – as solid biofuel and as a mineral fertilizer from the resulting ash – ensures full recycling of pharmaceutical waste and complies with circular bioeconomy principles.

References

5. Levchuk, R., Kochubei, V., Fedorova, O., & Mylyanych, A. (2026). Thermochemical and energetic characterization of wild carrot (Daucus carota) residues for green biofuel applications. *Journal Environmental Problems*, 11(2), 169–178. https://doi.org/10.23939/ep2026.02.169

6. Fedorova, O., Mylyanych, A., & Levchuk, R. (2026). Calbucid: An innovative biofermented ingredient for cosmetology and pharmaceuticals. In *Medicine, psychology and pharmacy: Innovative technologies, interdisciplinary solutions, modern realities of diagnostics and treatment prospects: Collective monograph* (pp. 122–135). Primedia eLaunch. https://doi.org/10.46299/ISG.2026.MONO.MED.1.2.1

6. Lu, Q., & Li, C. (2021). Comprehensive utilization of Chinese medicine residues for industry and environment protection: Turning waste into treasure. *Journal of Cleaner Production*, 279, Article 123856. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123856

СОКОЛОВА Т.І., ВАМБОЛЬ В.С.(УКРАЇНА, ХАРКІВ)

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ З ОТРИМАННЯМ БІОЧАРУ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
61000, вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна; Taisiia.Sokolova@khpi.edu.ua

Abstract. This study investigated the potential for producing biochar from spent coffee grounds and evaluated its structural and surface characteristics. It was established that thermal modification promotes the formation of a material with a higher specific surface area and an appropriate porous structure. Differential infrared spectroscopy revealed a decrease in absorption intensity in the region of 3400 cm^{-1}, corresponding to the stretching vibrations of free OH groups, indicating an increase in the number of hydrogen bonds in the biochar structure. The obtained results confirm the potential of spent coffee grounds as a secondary raw material for the production of functional biochar.

Зростання світового споживання кави супроводжується збільшенням обсягів утворення відпрацьованої кавової гущі (SCG), що є перспективною вторинною сировиною для отримання біочару. Отриманий біочар може застосовуватися як альтернативне паливо та функціональна добавка в процесах анаеробного зброджування для підвищення ефективності виробництва біогазу. У дослідженні біочар отримували з SCG методом піролізу при 300 та 500 °C, а також шляхом мікрохвильового опромінення при 230 °C. Для отриманих зразків проводили ІЧ-спектрометричне дослідження для оцінювання змін їх структурно-функціональних характеристик порівняно з вихідною сировиною.

В ІЧ-спектрі біочару (рис. 1) виявлено характерну смугу поглинання при 1168 $см^{-1}$, що відповідає скелетним коливанням. Пік при 1616 $см^{-1}$ пов'язаний із коливаннями зв'язків у β-конформаціях, а максимум при 2314 $см^{-1}$ — із симетричними коливаннями метильних груп. Поглинання в області 3305 $см^{-1}$ зумовлене коливаннями аміногруп, залучених до водневих зв'язків, тоді як пік при 3428 $см^{-1}$ відповідає вільним аміногрупам. Смуги в діапазоні 2840–2900 $см^{-1}$ характерні для валентних коливань груп –CH та $–CH_2–$.

В ІЧ-спектрі вихідної сировини (рис. 2) у діапазоні 700–900 $см^{-1}$ зафіксовано смуги поглинання, характерні для цукрів із галактозними ланками. Смуги при 1260 та 1230 $см^{-1}$ відповідають групам $–SO_2–O–$ та зумовлені асиметричними валентними коливаннями O=S=O.

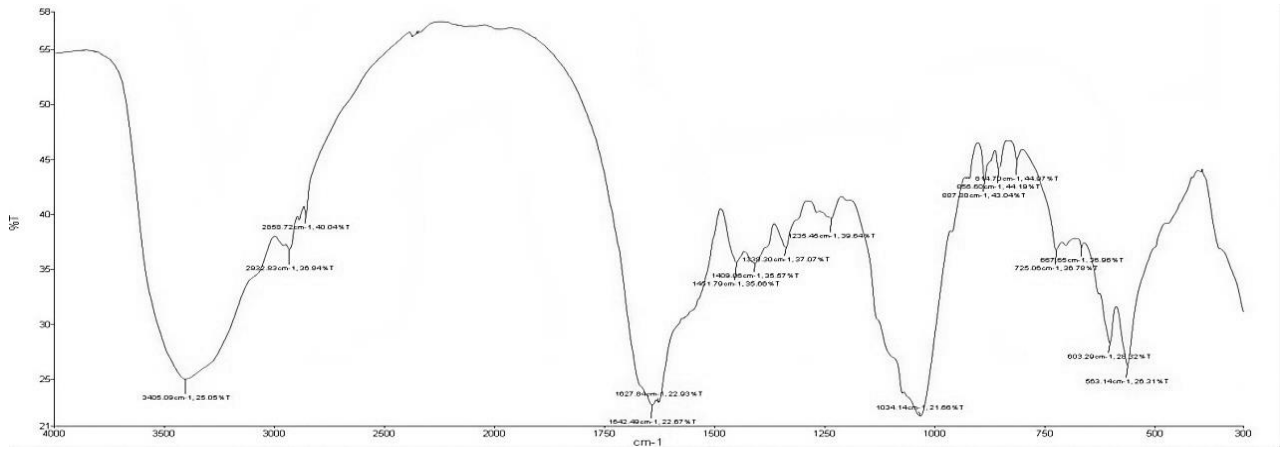


Рис. 1. ІЧ-спектр біочару-300

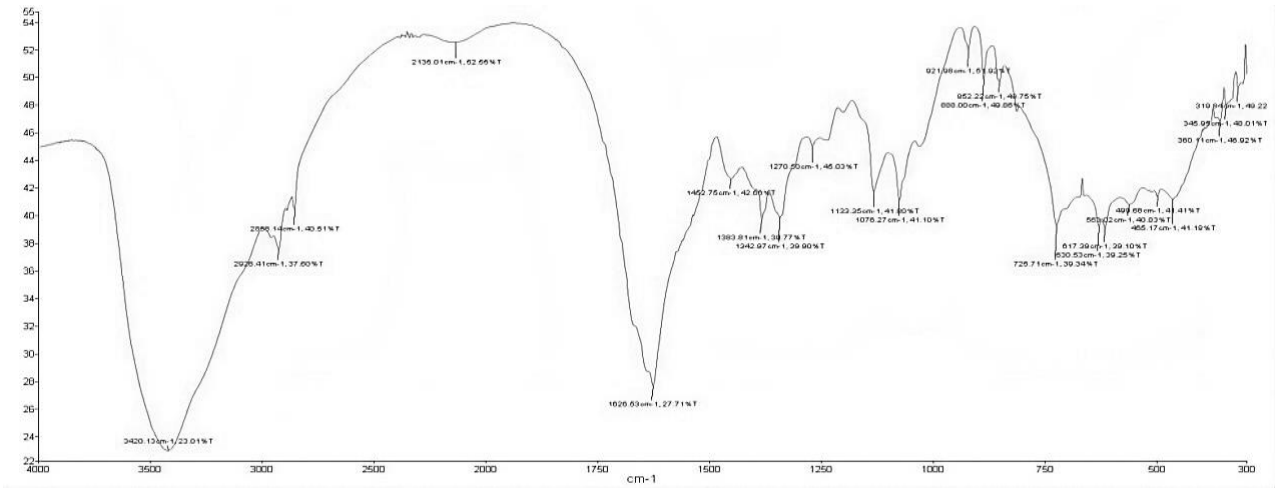


Рис. 2. ІЧ-спектр сировини (відпрацьованої кавової гущі)

Отже, ІЧ-спектроскопічний аналіз підтвердив структурні зміни вихідної сировини в процесі термічної трансформації та утворення біочару. Виявлені відмінності в смугах поглинання свідчать про зміну функціональних груп і характеру хімічних зв’язків, що підтверджує ефективність термічного модифікування кавової гущі та перспективність отриманого біочару для подальшого практичного застосування.

Список літератури:

1. Björner Brauer H., Hasselqvist H., Håkansson M., Willermark S., Hiller C., Re-configuring practices in times of energy crisis – A case study of Swedish households. Energy Research & Social Science, 2024, 114, 103578.
2. Kochito J., Gure A., Abdisa N., Tadesse B.T., Femi O.E. Magnetic biochar nanocomposites of coffee husk and khat (Catha edulis) leftover for removal of Cr (VI) from wastewater. Current Research in Green and Sustainable Chemistry. 2024, 8, 100403.

ГНАТЮК Н.О. (УКРАЇНА, УМАНЬ)

ЛЕТКІ ВИДІЛЕННЯ АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН ЯК ПРИРОДООРІЄНТОВАНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ ФІТОСАНІТАРНОГО ЗАХИСТУ АГРОЕКОСИСТЕМ

Уманський національний університет
20301 вул.Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл. Україна, nataliia.hnatiuk@unu.edu.ua

Abstract Volatile emissions of aromatic plants form a continuous chemical background in agroecosystems and can be considered a nature-based tool for plant protection. The paper reviews published evidence on the composition of volatile emissions of aromatic plants, on their antimicrobial, repellent and allelopathic effects, and on the dose-dependent nature of these effects. Particular attention is paid to the Lamiaceae family, whose essential oils show the strongest activity. Woody plants have been studied far better than herbaceous essential-oil species, such as Monarda didyma L., Dracocephalum moldavicum L. and Hyssopus officinalis L., and this gap defines the priorities for further research.

Леткі виділення рослин – це сукупність газоподібних і пароподібних сполук, які надземні органи вивільняють у повітря, а підземні – у ґрунт. Вони мають малу молекулярну масу та високий тиск пари, тому легко проходять крізь клітинні мембрани й випаровуються в навколишнє середовище [1]. У ароматичних видів ця складова особливо потужна: до неї входять ефірні олії, терпеноїди, феноли, аліфатичні вуглеводні, альдегіди, спирти, кетони, органічні кислоти та складні ефіри. Окрім захисту самої рослини від патогенів і шкідників, ці сполуки виконують сигнальну функцію і впливають на сусідні організми [1, 4].

Частина летких речовин осідає на частках ґрунту, а частина утворюється при розкладі рослинного опаду; згодом вони знову можуть бути поглинуті рослинами, стимулюючи або гальмуючи їх ріст [2]. Як показав А. М. Гродзінський, хімічна взаємодія рослин відбувається двома основними шляхами: прямим перенесенням метаболітів між сусідами та накопиченням і перетворенням біоактивних речовин у середовищі [3]. Тому виділення слід розглядати як регулятор структури біогеоценозу, а не як побічний продукт обміну.

Найкраще документованою є антимікробна дія ефірних олій, які здавна використовують як бактерицидні, фунгіцидні, протипаразитарні та інсектицидні засоби [4]. Провідна роль належить родині Lamiaceae, чиї олії містять тимол, карвакрол, ментол, цинеол, гераніол і борнеол. Фенольна природа тимолу та карвакролу пояснює їх високий бактерицидний ефект, тоді як ментол, що має насичений цикл, діє слабше й переважно бактеріостатично [5]. Бактеріостатичний ефект інших олій зростає в кілька разів після додавання 10 об’ємних відсотків олії монарди або базиліку [5]. Гісоп лікарський виявляв бактерицидну дію щодо Xanthomonas campestris pv. campestris і Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis та бактеріостатичну щодо Pseudomonas syringae pv. syringae, а види роду Lavandula – високу активність щодо цих самих фітопатогенів, причому в лавандину найактивнішими були листки, а в лаванди вузьколистої – суцвіття [6].

Показовим є те, що одна й та сама олія по-різному впливає на різні групи організмів. Олії Tagetes patula і T. signata за концентрації 25 мкг/м³ повністю гальмували розвиток Fusarium solani, Aspergillus niger та A. flavus, але водночас стимулювали гриби роду Penicillium, які використовують леткі фракції як джерело живлення [7, 10]. Отже, ефективність ароматичної рослини слід оцінювати щодо конкретного патогена, а не загалом. Окремі компоненти олій також пригнічують фітопатогенні гриби: камфора гальмує ріст і спороутворення Aspergillus niger, а скипидар стримує цвілеві гриби навіть у розведенні 1:50 000 [8]. Це відкриває можливість створення композицій із синергічним ефектом.

Леткі виділення проявляють і алелопатичну активність. За Г. Грюммером, гвоздична та кминова олії найсильніше затримують проростання насіння, тоді як скипидарна, кедрова й лимонна діють слабко [8]. Ефект залежить не лише від виду-донора, а й від концентрації, фази розвитку, ґрунту, клімату та сусідніх рослин. Для його оцінки слід враховувати біосинтез, шлях надходження в середовище, механізм дії та спільну дію алелохімікатів [9], тому з окремих лабораторних результатів не варто механічно робити висновки для поля.

Це підтверджують і досліди із сумісними посівами. За Г. Грюммером, у змішаних посівах меліса виявилася найстійкішою, тоді як ехінацея та шавлія пригнічувалися сильніше за інші види; сприятливими були комбінації, у яких партнери використовують різні яруси простору (наприклад, алтея й м’ята) [8]. У більшості з 60 досліджених комбінацій лікарських рослин взаємодії були незначними, а позитивний ефект здебільшого пояснювався фізичними чинниками, а не хімічними виділеннями. У деяких випадках змінювався й вміст вторинних метаболітів: за сумісного вирощування з м’ятою перцевою вміст алкалоїдів у дурмані знижувався майже вдвічі [8].

Значний внесок у вивчення цих процесів зробила українська школа. У Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка діяв єдиний у світі відділ алелопатії, заснований А. М. Гродзінським [12]. Закономірності алелопатії вищих рослин у ретроспективі узагальнено в [11], а конструювання агрофітоценозів із ароматичних рослин та їх еколого-алелопатичні властивості розглянуто в [10]. Проведено також дослідження екзометаболітів чорнобривців [7] та інших інтродукованих видів.

Разом із тим знань бракує саме там, де вони потрібні для практики. Алелопатичну роль летких екзометаболітів вивчали переважно на деревних видах, тоді як трави й напівкущі з монотерпеновими оліями залишилися осторонь [10]. Не досліджено динаміку виділень Monarda didyma L., Dracocephalum moldavicum L. і Hyssopus officinalis L. протягом онтогенезу в різних ґрунтово-кліматичних умовах, а також вплив післяжнивних решток і відходів ефіроолійного виробництва та здатність цих видів до фіторемедіації [10].

Різноманітність дії ефірних олій пояснюється їх складом. Оскільки олії отримують переважно дистиляцією з ароматичних рослин, вони містять терпени й терпеноїди, ароматичні похідні фенолу та аліфатичні сполуки, а сфера їх застосування охоплює фармацію, санітарію, косметику, сільське господарство й харчову промисловість [4]. Для агроекології це означає, що біологічна дія рослини визначається не окремою речовиною, а сукупністю компонентів, які можуть посилювати чи послаблювати один одного [9].

З позицій сталого розвитку особливо цінним є те, що ароматичні рослини у сумісних посівах можуть знижувати потребу в синтетичних засобах захисту та зменшувати пестицидне навантаження на ґрунт і воду. Водночас універсальних рекомендацій поки що немає, а для кожного регіону потрібні власні польові дані [10].

Метою роботи було узагальнити літературні дані щодо летких виділень ароматичних рослин і оцінити їх потенціал як природоорієнтованого засобу фітосанітарного захисту. Аналіз показав, що для практичного застосування насамперед потрібні польові й вегетаційні досліди з вимірюванням концентрацій виділень у повітрі та ґрунті, оцінкою впливу на схожість, ріст культур і склад мікрофлори, а також порівнянням чистих і сумісних посівів.

Таким чином, пряно-ароматичні рослини можна розглядати як джерело природних біологічно активних сполук, що поєднують фунгіцидну, бактерицидну, репелентну й алелопатичну дії. З позицій природоорієнтованих рішень (Nature-based Solutions) перспективними є їх сумісні посіви, фітосанітарне оздоровлення ґрунту та створення малотоксичних біопрепаратів, за умови врахування дозозалежності ефектів і конкретних екологічних умов.

Список літератури:

1. Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D. A., & Orlova, I. (2006). Plant volatiles: Recent advances and future perspectives. Critical Reviews in Plant Sciences, 25, 417–440. https://doi.org/10.1080/07352680600899973
2. Musiienko, M. M. (2001). Fiziolohiia roslyn [Plant physiology]. Fitosotsiotsentr. (in Ukrainian)
3. Grodzinsky, A. M. (1989). General and specific mechanisms of biochemical interactions between plants. Biologia Plantarum, 31(6), 448–457. https://doi.org/10.1007/BF02876218
4. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology, 46(2), 446–475. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106
5. Kobzar, A. Ya. (2007). Farmakohnoziia v medytsyni [Pharmacognosy in medicine]. Medytsyna. (in Ukrainian)
6. Yunosheva, O. P., Hnatiuk, N. O., Yurchak, L. D., & Korablova, O. A. (2008). Porivnialna otsinka antymikrobnoi aktyvnosti deiakykh aromatychnykh roslyn [Comparative assessment of antimicrobial activity of some aromatic plants]. Ahroekolohichnyi zhurnal, Special issue, 270–274. (in Ukrainian)
7. Mashkovska, S. P. (2002). Alelopatychni ta biokhimichni osoblyvosti vydiv rodu chornobryvtsi (Tagetes L.) [Allelopathic and biochemical features of the genus Tagetes L.] [Abstract of PhD dissertation]. M. M. Gryshko National Botanical Garden. (in Ukrainian)
8. Grümmer, G. (1955). Die gegenseitige Beeinflussung höherer Pflanzen – Allelopathie. Gustav Fischer. (in German)
9. Inderjit, & Duke, S. O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. Planta, 217(4), 529–539. https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z
10. Yurchak, L. D. (2005). Alelopatiia v ahrobiotsenozakh aromatychnykh roslyn [Allelopathy in agrobiocenoses of aromatic plants]. Fitosotsiotsentr. (in Ukrainian)
11. Golovko, E. A. (2005). Zakonomirnosti i paradoksy v alelopatii vyshchykh roslyn: Retrospektyvnyi pohliad [Regularities and paradoxes in allelopathy of higher plants: A retrospective view]. Introduktsiia roslyn, (3), 88–101. (in Ukrainian)
12. Kucheriavyi, O. (2018). Development of scientific activities of the allelopathial department of M. M. Grishko's National Botanical Garden of NAS of Ukraine (1960–2005). Istoriia nauky i biohrafistyka, (4), 203–216.

Семінар 8 Seminar 8

КАРАБІНЮК М.М., РОМАН В.І., ЛЕТА В.В., ЧИНЯК В.В. (УКРАЇНА, УЖГОРОД)

АКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМИ ЗАРОСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ДЕРЕВНО-ЧАГАРНИКОВОЮ РОСЛИННІСТЮ

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
88000, вул. Університетська, 14, Ужгород, Україна; vasyl.roman@uzhnu.edu.ua

Abstract. Дослідження присвячено проблематиці заростання сільськогосподарських земель деревно-чагарниковою рослинністю як однієї з форм деградації на прикладі територіальних громад Закарпатської області. Основну увагу акцентовано на питаннях визначення статусу та проблемах раціонального використання сільськогосподарських земель, які характеризуються активізацією процесу заростання чагарниками і самосійними лісами. Також розглянуто питання перспектив та економічної доцільності відновлення функціональності сільськогосподарських земель різного функціонального призначення – землі під посіви, сади, виноградники тощо.

На сьогодні проблематика заростання земельних ділянок деревно-чагарниковою рослинністю зі статусом земель сільськогосподарського призначення в Україні та Закарпатській області і зокрема не досліджена належним чином.. З одного боку, утворення лісів на закинутих сільськогосподарських землях (зокрема садів та виноградників) трактується як позитивний прояв у частині збільшення лісистості території, депонування вуглецю та посиленням екологічних функцій загалом [1-3]. З іншої сторони, деревна рослинність суттєво змінює навколишнє середовище до стану, за якого ускладняється відновлення даних земель для вирощування сільськогосподарських культур або інших господарських потреб. Тому важливим завданням зараз є визначення реальних умов розвитку процесу деградації сільськогосподарських земель шляхом поширення деревно-чагарникової рослинності та втрати через це своєї господарських функцій (рис. 1). Актуальним також залишається питання раціонального використання сільськогосподарських земель із проявами заростання деревно-чагарниковою рослинністю та проблемності вирішення доречності зміни їх юридичного статусу на лісогосподарське призначення або відновлення і використання відповідно до їх первинного функціонального призначення (Рис. 2).

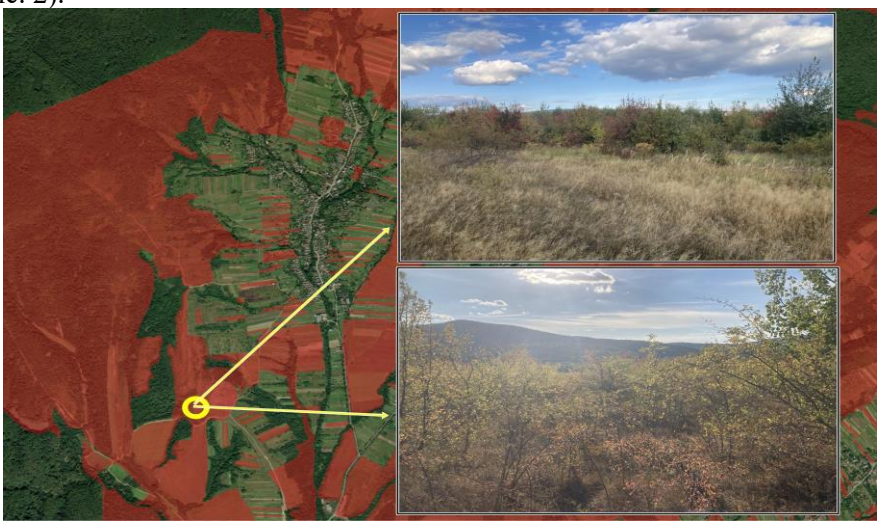


Рис. 1. Заростання сільськогосподарських земель деревно-чагарниковою рослинністю в околицях с. Лінці (фрагмент карти сільськогосподарських угідь Середнянської територіальної громади)

При відновленні сільськогосподарських земель із проявами заростання деревно-чагарниковою рослинністю важливим є приналежність ділянки до певної категорія земель та ступінь її заростання. На нашу думку, за умови докорінної зміни ландшафтних умов через зростання на ділянці повноцінної лісової рослинності віком від 25-30 років, з інтенсивним приростом запасу деревини і розвитком ярусності в лісостані та ін. доречним є зміна статусу земельної ділянки на категорію самозаліснені землі, оскільки її функціональне відновлення до первинного стану сільськогосподарського призначення є економічно затратним. Таким чином, у випадку сформованих на сільськогосподарських землях самосійних лісів доцільним є юридичне уточнення та зміна їх функціонального призначення з

урахуванням фактичного стану території та сформованої рослинності. Якщо такі лісові угруповання виникли на землях, віднесених до категорій пасовищ, сіножатей, садів або виноградників, з екологічної та природоохоронної точки зору обґрунтованим може бути їх переведення до категорії земель лісогосподарського призначення.



Рис. 2. Схема варіації концептуального розгляду заростання сільськогосподарських земель деревно-чагарниковою рослинністю

Водночас у разі заростання орних земель, що тривалий час не використовуються за сільськогосподарським призначенням, за незначного ступеня сформованості деревно-чагарникової рослинності доцільним є проведення комплексу заходів, спрямованих на відновлення їх сільськогосподарського використання. Вибір конкретних заходів та технології відновлення таких земель має визначатися з урахуванням ступеня їх заростання, складу та вікової структури деревно-чагарникової рослинності, а також фактичного стану ґрунтового покриву (див. рис. 1). За значного ступеня заростання та сформованості стійких деревно-чагарникових угруповань доцільність їх подальшого використання як сільськогосподарських угідь потребує окремого обґрунтування з урахуванням екологічних та економічних чинників.

Отже, заростання сільськогосподарських земель деревно-чагарниковою рослинністю не слід однозначно трактувати як прояв деградації, оскільки його екологічні та господарські наслідки визначаються категорією і функціональним призначенням земель, ступенем та тривалістю заростання, видовим складом і структурою рослинності. За незначного заростання орних земель доцільним є їх відновлення для сільськогосподарського використання. За формування стійких лісових угруповань, особливо на пасовищах, сіножатях, садах і виноградниках, доцільність зміни функціонального призначення має визначатися з урахуванням екологічних, правових та господарських чинників. Визначальним критерієм вибору напряму подальшого використання є економічна доцільність відновлення земель з урахуванням витрат на їх розчищення та відновлення продуктивності.

Подяки: у статті представлено результати досліджень, виконаних у рамках наукового проєкту «Геоекологічна діагностика деградованих сільськогосподарських земель територіальних громад та обґрунтування природоорієнтованих рішень їх відновлення» (0126U002326), за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України.

Список літератури:

1. Лакида, П., & Блищик, В. (2024). Продуктивність та екологічні функції самосійних соснових лісів Українського Полісся. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, (27), 129-138. https://doi.org/10.15421/412420

2. Stoiko, N., Cherechon, O., Dudych, H., Kostyshyn, O., & Soltys, O. (2024). Planning of rational use of forest resources in Ukraine based on the improvement of ecosystem services. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(2), 135-152. https://doi.org/10.31548/forest/2.2024.135

3. Holl, K. D., Ashton, M. S., Bukoski, J. J., Culbertson, K. A., Curran, S. R., Harris, T. B., Potts, M. D., Valverde, Y. L., & Vincent, J. R. (2022). Redefining “abandoned” agricultural land in the context of reforestation. *Frontiers in Forests and Global Change*, *5*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.933887

ПЕТРУК Т.В., ФЕДОНЮК Т.П. (УКРАЇНА, ЖИТОМИР)

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

Поліський національний університет
10008, вул. Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна; ptaras867@gmail.com

Abstract. The transition to organic farming requires a comprehensive spatial land suitability assessment based on soil, environmental, landscape, hydrological, historical, and external risk criteria. Unlike conventional land evaluation focusing primarily on agricultural productivity, organic production prioritizes environmental safety, long-term soil fertility restoration, and spatial isolation from potential contamination sources. This study outlines a multi-criteria decision-making model implemented within Geographic Information Systems (GIS) to integrate spatial data layers, apply normative constraints, and calculate an integral suitability index via weighted linear combination. The proposed framework provides an objective decision-support tool for organic land classification and spatial planning.

Сучасний розвиток сільського господарства характеризується посиленням уваги до напрямів, які роблять акцент на впровадженні екологічно безпечних та ресурсоефективних способів виробництва сільськогосподарської продукції. Одним із таких напрямів є органічне землеробство, яке передбачає мінімізацію негативного впливу на навколишнє природне середовище, збереження родючості ґрунтів та підтримання природних екосистем [1]. Для України розвиток органічного землеробства має особливе значення з огляду на вагому роль аграрного сектору, значні площі сільськогосподарських угідь та необхідність забезпечення їх довгострокової продуктивності. Крім того, враховуючи земельні ресурси нашої держави, вітчизняна органічна продукція може мати значний експортний потенціал.

Важливою особливістю органічного землеробства у світі та Україні зокрема є те, що воно повинно чітко відповідати законодавчим вимогам щодо виробництва, переробки, обігу та маркування продукції, а також застосування дозволених методів і речовин [2]. На відміну від традиційного сільськогосподарського виробництва, вимоги органічного виробництва стосуються не лише кінцевої продукції, а всього процесу її отримання — від стану земельної ділянки та насіннєвого матеріалу до технології вирощування, використаних речовин, зберігання, переробки та простежуваності продукції. Важливою також є екологічна складова, а саме: підтримання природної родючості ґрунтів, збереження біорізноманіття, запобігання ерозії та ущільненню ґрунту, а також мінімізація використання зовнішніх ресурсів. Використання засобів захисту рослин обмежується, а перевага надається профілактичним, механічним та біологічним методам — для підтримання родючості застосовуються сівозміни, бобові та сидеральні культури, органічна речовина й інші дозволені засоби.

Не менш важливим є запобігання зовнішньому забрудненню територій, де вирощується органічна продукція. Потенційними джерелами негативного впливу можуть бути суміжні поля, на яких застосовуються пестициди та мінеральні добрива, промислові об’єкти, автомобільні дороги, об’єкти поводження з відходами та інші джерела забруднення [3]. Тому важливим є попередня історія землекористування, можливість просторового відокремлення від неорганічного виробництва, ризик потрапляння заборонених речовин із сусідніх територій, екологічний стан ґрунтів та можливість забезпечення контролю за дотриманням органічних методів господарювання.

Зазначені особливості зумовлюють підвищені вимоги до земельних ділянок, на яких планується органічне виробництво, оскільки вибір земельної ділянки має враховувати не лише її внутрішні характеристики, а й просторове оточення. Тому гостро постає проблема класифікації земель за їх рівнем придатності до органічного землеробства. Придатність земель для органічного виробництва доцільно визначати як сукупність природних, екологічних, виробничих та просторових характеристик земельної ділянки, а також її відповідність встановленим нормативним вимогам. На відміну від традиційної оцінки, орієнтованої переважно на продуктивність та агровиробничий потенціал, для органічного землеробства особливого значення набувають екологічна безпечність, попереднє використання земель, ризик забруднення та здатність ґрунтів до довготривалого відтворення родючості [4]. Комплексний підхід є принципово важливим, тому важливо визначити та об’єднати в цілісну систему різнорідні критерії, за якими проводиться оцінка придатності земель до органічного землеробства (табл. 1).

Таблиця 1

Групи критеріїв оцінювання придатності земель для органічного землеробства

Група критеріїв	Основні показники
Ґрунтові	Вміст гумусу, pH, гранулометричний склад, поживний режим, структура, біологічна активність
Екологічні	Важкі метали, залишки пестицидів, радіонукліди, токсичні мікроелементи та інші забруднювачі
Історико-виробничі	Попереднє використання, інтенсивність застосування агрохімікатів, тривалість органічного/перехідного періоду
Просторові	Площа, конфігурація, компактність ділянки, межування з неорганічними угіддями
Ландшафтні	Рельєф, крутизна схилів, експозиція, ерозійна небезпека, наявність буферних природних елементів
Гідрологічні	Якість та джерела зрошувальної/ґрунтової води, ризик підтоплення, відстань до водних об’єктів
Зовнішні ризики	Близькість джерел забруднення (автошляхи, промисловість, об’єкти відходів, інтенсивний хімізований сектор)

Враховуючи різнорідність критеріїв оцінки, потрібні методи та інструменти для правильного їх об’єднання та обрахування результуючих характеристик земельних ділянок. А беручи до уваги також просторову прив’язку ділянок та потребу у їх картографічному відображенні, найбільш логічним є використання для цього геоінформаційних систем [5].

Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують збирання, зберігання, аналіз, оброблення та візуалізацію просторово прив’язаних даних. Основною перевагою ГІС є можливість просторового накладання та інтеграції різнорідних даних. Дані про ґрунти, їх забруднення, рельєф, ерозійні процеси, гідрологічні умови, історію використання земель та ризики впливу суміжних територій можуть бути представлені у вигляді окремих тематичних шарів [6]. У результаті формується комплексна геоінформаційна модель, у якій для кожної земельної ділянки можна визначити сукупність факторів, що впливають на можливість її використання в органічному виробництві. Для отримання узагальненої оцінки окремими показниками можуть нормуватися та переводитися у бальну шкалу відповідно до ступеня їх сприятливості. Показники, що мають характер обов’язкових нормативних вимог, доцільно розглядати не лише як фактори бальної оцінки, а і як обмеження, за невиконання яких земельна ділянка не може бути віднесена до придатних незалежно від інших характеристик.

Узагальнений показник придатності земель може бути представлений як зважена сума окремих оцінок [7]:

$$I_j = \sum_{i=1}^{n} w_i x_{ij}, \quad (1)$$

де I_j — інтегральний показник придатності земель для органічного землеробства для j-ї земельної ділянки; x_{ij} — нормоване значення i-го критерію; w_i — його ваговий коефіцієнт; n — кількість критеріїв оцінювання.

Такий підхід дає змогу враховувати різну значущість окремих критеріїв та здійснювати їх просторове інтегрування. Результатом ГІС-аналізу може бути карта комплексної придатності земель для органічного землеробства з виділенням високопридатних, придатних, умовно придатних та непридатних земельних ділянок. Водночас ГІС дозволяє встановити, які саме фактори визначили підсумкову оцінку кожної ділянки, що підвищує обґрунтованість прийнятих рішень та забезпечує можливість коригування оцінки при надходженні нових даних.

Список літератури:

1. Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. Nature Plants, 2(2), 1–8. https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221
2. European Parliament and Council of the European Union. (2018). Regulation (EU) 2018/848 of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. Official Journal of the European Union, L 150, 1–92.
3. Sanders, J., & Heß, J. (Eds.). (2019). Performance of organic agriculture in Europe: Policy support, market trends and sustainability impacts (Thünen Report No. 70). Johann Heinrich von Thünen-Institut.
4. Медведєв, В. В., & Пліско, І. В. (2018). Придатність ґрунтів для органічного землеробства. Агрохімія і ґрунтознавство, (88), 5–13.
5. Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4
6. Boteva, S., & Marinova, S. (2021). GIS-based spatial multi-criteria evaluation of land suitability for sustainable and organic agricultural development. Journal of Environmental Management & Tourism, 12(4), 1085–1096. https://doi.org/10.14505/jemt.v12.4(52).22
7. Mokarram, M., & Hojati, M. (2017). Using OWA and AHP decision-making methods for land suitability evaluation in GIS environment. Environmental Earth Sciences, 76(3), 115. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6433-2

КВАТЕРНЮК С.М., ШЕВЧЕНКО В.О., МАНДЕБУРА С.В.,
ЛАТУША Д.Р., БУХЕНКО П.В. (УКРАЇНА, ВІННИЦЯ)

ШТУЧНІ ВОДНО-БОЛОТНІ УГІДДЯ ЯК ЗАСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ, ПОРУШЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна; raptor.sad77@gmail.com

Abstract. This article substantiates the feasibility of using constructed wetlands (CWs) as a nature-based and cost-effective method for the bioremediation of environments devastated by hostilities in Ukraine. It examines the mechanisms for remediating multi-component pollution (involving heavy metals, explosive residues, and petroleum products) through phytoextraction, phytodegradation, and rhizofiltration. The study demonstrates that subsurface-flow constructed wetlands – which function as biogeochemical barriers within river basins – are the most suitable option given Ukraine's climatic and sanitary conditions. Furthermore, it argues for the necessity of integrating nature-based technologies into national post-war recovery programs to ensure environmental safety and compliance with European standards.

Повномасштабні воєнні дії на території України призвели до безпрецедентного руйнування екосистем, масштаби якого виходять за межі локальних криз і набувають ознак регіонального екоциду. Унаслідок масованих ракетно-артилерійських ударів, руйнування промислових об'єктів хімічної та металургійної галузей, нафтобаз, а також інфраструктури водоочищення відбулося масове забруднення поверхневих та підземних вод. Специфіка даного типу забруднення полягає в його багатокомпонентності: гідросфера та ґрунти одночасно забруднюються важкими металами, залишками вибухових речовин, поліциклічними ароматичними вуглеводнями, паливно-мастильними матеріалами та азбестом зі зруйнованих будівель [1, 4].

Традиційні інженерні методи ремедіації територій, такі як екскавація та вивезення ґрунтів, термічна десорбція або хімічне промивання, є вкрай високовартісними. Для країни, що перебуває в стані повоєнної відбудови, масштабне застосування таких методів буде економічно непідйомним. Більше того, агресивні методи очищення часто призводять до остаточного знищення місцевих біоценозів. У цьому контексті застосування природоорієнтованих рішень, зокрема конструювання штучних водно-болотних угідь, постає як найбільш раціональний, екологічно збалансований та економічно доцільний підхід до ревіталізації деокупованих та постраждалих ландшафтів [2, 5].

Мета роботи обґрунтувати доцільність застосування та визначити оптимальні конфігурації штучних водно-болотних угідь як ефективного інструменту біоремедіації для відновлення екологічної безпеки територій України, що зазнали впливу мілітарного фактора.

Штучні водно-болотні угіддя – це спеціально спроєктовані інженерно-біологічні системи, які використовують природні процеси, притаманні болотним екосистемам, для цілеспрямованого очищення стічних і поверхневих вод. Вони є складною синергетичною системою, що складається з фільтрувального субстрату (гравій, пісок, цеоліт), вищих водних рослин (макрофітів) та специфічних мікробіомів, що розвиваються в прикореневій зоні рослин [3].

Забруднення поверхневого стоку з урбанізованих та промислових територій, що зазнали руйнувань, містить специфічні токсиканти. Механізм дії ШВБУ щодо цих забруднюючих речовин базується на комплексі фізико-хімічних та біологічних процесів, таких як фітоекстракція, фітоакумуляція, фітодеградація, ризофільтрація та седиментація.

Фітоекстракція та фітоакумуляція ґрунтується на тому, що рослини-гіперакумулятори, такі як очерет звичайний, рогіз широколистий та куга озерна, поглинають іони важких металів з розчинів і переміщують їх у надземну біомасу. Це критично важливо для нейтралізації наслідків розривів артилерійських снарядів, які залишають у довкіллі значну кількість міді, свинцю та цинку [3, 6].

Залишки вибухових речовин та нафтопродукти розщеплюються специфічними ферментами, що виділяються корінням рослин, або мікроорганізмами-симбіонтами до екологічно безпечних сполук – вуглекислого газу та води. Коренева система рослин відіграє роль механічного фільтра, що затримує дрібнодисперсні завислі речовини, які є основними носіями адсорбованих токсикантів та радіонуклідів.

За гідрологічним режимом ШВБУ класифікують на системи з поверхневим та підземним стоком. Для умов ліквідації наслідків бойових дій в Україні найбільш доцільним є впровадження систем з підземним стоком.

Системи з підземним стоком мають свої переваги, у контексті повоєнного відновлення:

1. Санітарна безпека: Рівень забрудненої води знаходиться нижче поверхні гравійного або щебеневого субстрату, що виключає прямий контакт токсичної води з фауною та людьми. [2, 5].

2. Морозостійкість: Україна знаходиться в зоні помірного клімату із холодними зимами. Оскільки процеси очищення відбуваються під шаром субстрату та шаром рослинних залишків, такі системи зберігають свою ефективність при мінусових температурах, не промерзаючи повністю.

3. Бар'єрна функція: Створення каскадів ШВБУ в гирлах малих річок, балках і ярах, які дренують зони інтенсивних бойових дій, дозволяє «перехоплювати» поверхневий стік забрудненої води. Це створює надійний біогеохімічний бар'єр, що запобігає потраплянню забруднюючих речовин до басейнів великих річок та акваторій Чорного і Азовського морів [4, 7].

Порівняно з будівництвом класичних очисних споруд зі складним технологічним обладнанням, створення ШВБУ потребує значно менших інвестицій та мінімізує витрати електроенергії під час експлуатації [2]. Окрім функції очищення, такі об'єкти створюють нові зелені зони, сприяють мікрокліматичному регулюванню та відновлюють біорізноманіття постраждалих територій.

Впровадження технологій штучних водно-болотних угідь є науково обґрунтованим, високотехнологічним і водночас економічно вигідним шляхом подолання наслідків воєнного впливу на гідросферу та ґрунти. Виступаючи як ефективні біогеохімічні бар'єри, системи з підземним потоком здатні локалізувати та нейтралізувати важкі метали, нафтопродукти та залишки вибухових речовин. Інтеграція природоорієнтованих рішень у національні та регіональні програми повоєнного відновлення України дозволить не лише ефективно очистити порушені території в умовах обмеженого фінансування, а й адаптувати інфраструктуру до європейських екологічних стандартів, повернувши втрачений екологічний баланс регіонам.

Список літератури:

1. ЕкоЗагроза: офіційний вебресурс і мобільний додаток / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ, 2022. URL: https://ecozagroza.gov.ua/
2. Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. Environmental Science & Technology. 2011. Vol. 45, No. 1. P. 61–69. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530
3. Радовенчик В. М., Гомеля М. Д. Фіторемедіація забруднених ґрунтів і водних середовищ: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 215 с.
4. The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine: A Preliminary Review / United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, 2022. URL: https://www.unep.org/resources/report/environmental-impact-conflict-ukraine-preliminary-review
5. Stefanakis A. I. The role of constructed wetlands as green infrastructure for sustainable urban water management. Sustainability. 2019. Vol. 11, Iss. 24. P. 6981. DOI: https://doi.org/10.3390/su11246981.
6. Ali H., Khan E., Sajad M. A. Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. Chemosphere. 2013. Vol. 91, Iss. 7. P. 869–881. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.
7. Водний кодекс України: Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР (зі змінами). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр

ВРОНСЬКА Н.Ю., ЛЮТА О.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В УМОВАХ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 13, м. Львів, Україна

Abstract. Sustainable natural resource management and resource conservation are important components of the transition towards sustainable development, as the current scale of natural resource use is accompanied by increasing environmental pressures, waste generation, and depletion of natural capital. This paper examines modern approaches to improving resource efficiency in production within the transition from a linear to a circular economy model. The potential for reducing the consumption of primary raw materials, reusing materials, closing water and material loops, implementing industrial symbiosis, and adopting resource-efficient technologies is analyzed. It is demonstrated that integrating resource conservation with circular economy principles can simultaneously reduce the consumption of natural resources and the environmental impacts of production activities.

Раціональне природокористування передбачає забезпечення такого використання природних ресурсів, за якого задовольняються сучасні потреби суспільства без створення надмірного екологічного навантаження та обмеження можливостей майбутніх поколінь. Одним із ключових інструментів досягнення цієї мети є ресурсозбереження, спрямоване на зменшення використання сировини, води та енергії на одиницю продукції, а також на скорочення втрат і утворення відходів.

Актуальність ресурсозбереження зумовлена значним зростанням масштабів використання природних ресурсів. За даними Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP), за останні 50 років видобування природних ресурсів у світі зросло приблизно утричі. За відсутності суттєвих змін у моделях виробництва і споживання до 2060 року глобальне видобування ресурсів може зрости ще приблизно на 60 % порівняно з рівнем 2020 року [1].

Важливим напрямом розв'язання цієї проблеми є перехід від лінійної моделі «видобування – виробництво – споживання – утворення відходів» до циркулярної моделі, у межах якої матеріали та продукти максимально довго зберігають свою цінність і повертаються у виробничий цикл. Такий підхід передбачає не лише перероблення відходів, а насамперед запобігання їх утворенню, продовження терміну використання продукції, повторне використання матеріалів та підвищення ефективності виробничих процесів.

Особливе значення має ресурсоефективне виробництво, яке передбачає оптимізацію технологічних процесів з метою зменшення витрат сировини, води та енергії. Систематичний аналіз 50 наукових публікацій, проведений у 2024 році, дозволив виокремити 22 заходи зі скорочення ресурсоспоживання у виробничому секторі. Значна частина таких заходів належить до ресурсоефективного виробництва та передбачає оптимізацію операційних процесів [2].

Одним із перспективних інструментів раціонального використання ресурсів є промислова симбіоза. Її сутність полягає у використанні побічних продуктів, матеріальних залишків, вторинної сировини, тепла або інших ресурсних потоків одного підприємства як ресурсів для іншого. Таким чином, те, що в межах традиційної лінійної моделі розглядається як відхід, може стати сировиною для іншого виробничого процесу. Сучасні дослідження промислової симбіози демонструють можливість спрямування вторинних матеріальних потоків до інших виробничих процесів, що створює передумови для більш ефективного використання матеріалів та енергії [3].

Перспективним є також замикання водних циклів на підприємствах. Повторне використання очищених стічних вод для технічних потреб, охолодження або інших операцій дозволяє зменшити споживання свіжої води та обсяги скидання стічних вод. Аналогічний підхід може застосовуватися до матеріальних потоків шляхом повернення виробничих залишків у технологічний процес або їх передачі іншим підприємствам.

Важливим елементом циркулярної економіки є також удосконалення управління виробничими матеріалами та відходами. Сучасні підходи передбачають пріоритет запобігання утворенню відходів, повторного використання та відновлення матеріалів над їх остаточним видаленням. Для промислових підприємств це може включати повторне використання технологічних рідин, регенерацію мастильних матеріалів, повернення металевих відходів у виробництво, вилучення цінних компонентів зі стічних вод та використання побічних продуктів як вторинної сировини.

Важливою умовою ефективного переходу до циркулярної моделі є оцінювання не лише кількості повторно використаних ресурсів, а й реального екологічного ефекту відповідних заходів. Сучасні дослідження промислової симбіози наголошують на необхідності застосування систем оцінювання сталості протягом усього життєвого циклу циркулярних рішень [4]. Це дає змогу враховувати споживання енергії, транспортні витрати, викиди та інші екологічні наслідки, які можуть виникати під час повторного використання або перероблення ресурсів.

Перспективним напрямом підвищення ресурсоефективності є цифровізація виробничих процесів. Використання систем автоматизованого моніторингу, сенсорів та аналізу даних дає змогу оперативно контролювати споживання води, енергії та сировини, виявляти технологічні втрати й оптимізувати виробничі режими. Поєднання цифрових технологій із принципами циркулярної економіки створює можливості для більш точного визначення ресурсних потоків підприємства та своєчасного виявлення ділянок із підвищеним споживанням ресурсів.

Важливим інструментом забезпечення ресурсозбереження є системний екологічний менеджмент підприємств. Планування ресурсоефективних заходів доцільно здійснювати з урахуванням повного життєвого циклу продукції, включаючи видобування сировини, виробництво, транспортування, використання та поводження з продукцією після завершення її життєвого циклу. Такий підхід дозволяє визначати не лише безпосередні втрати ресурсів на підприємстві, а й потенційні екологічні ефекти на наступних етапах життєвого циклу та обґрунтовувати пріоритетні напрями ресурсозбереження.

Отже, сучасне раціональне природокористування передбачає поступовий перехід від простого скорочення споживання ресурсів до системного управління матеріальними, водними та енергетичними потоками. Поєднання ресурсоефективного виробництва, повторного використання матеріалів, замикання водних циклів, промислової симбіози та інших принципів циркулярної економіки створює можливості для зменшення залежності від первинних природних ресурсів та скорочення екологічного навантаження. Подальший розвиток цих підходів потребує технологічної модернізації виробництва, оцінювання життєвого циклу ресурсів та формування ефективних механізмів стимулювання циркулярних практик.

Список літератури:

1. UNEP, International Resource Panel. *Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a Liveable Planet as Resource Use Spikes*. 2024.
2. Olipp, N., Woschank, M., Hoffelner, M. Exploration of the framework conditions for measures to reduce resource consumption in the manufacturing industry with a focus on the circular economy: a systematic secondary data research. *Production & Manufacturing Research*. 2024, 12. DOI: 10.1080/21693277.2024.2431723.
3. Duflou, J. R., Wegener, K., Tekkaya, A. E. et al. Efficiently preserving material resources in manufacturing: Industrial symbiosis revisited. *CIRP Annals*. 2024, 73(2), 695–721. DOI: 10.1016/j.cirp.2024.05.006.
4. Mapping sustainability assessment methods through the industrial symbiosis life cycle for a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*. 2024, 50, 253–267. DOI: 10.1016/j.spc.2024.08.005.
5. Sakao, T., Bocken, N., Nasr, N., Umeda, Y. Implementing circular economy activities in manufacturing for environmental sustainability. *CIRP Annals*. 2024, 73(2), 457–481. DOI: 10.1016/j.cirp.2024.06.002.

PODOLAK A., JURCZYK Ł., KOC-JURCZYK J., ROMAŃCZYK P. (POLAND, RZESZÓW)

THE QUALITY OF HUMIC MATTER AS AN INDICATOR OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ORGANIC FERTILISERS

University of Rzeszów, Faculty of Technology and Natural Sciences, 1b Cwiklinskiej St., 35-601, Rzeszów, Poland; apodolak@ur.edu.pl

Abstract. Humic substances play a key role in determining the environmental effects of organic fertilizers. The study evaluated humic substance content and humification degree in selected commercial animal manures. Significant differences were found among fertilizer types. Sheep manure contained the most stable humified organic matter, whereas poultry and cattle manures showed a higher share of mobile fulvic fractions. The results indicate varying potentials of fertilizers to improve soil quality and influence nutrient migration in the soil-water environment.

Main text. The use of organic fertilizers is increasingly promoted as a sustainable alternative to mineral fertilization. Beyond nutrient supply, organic amendments improve soil structure, organic carbon content, and biological activity. However, fertilizer quality depends not only on nutrient concentrations but also on the characteristics of humic substances, which determine organic matter stability and environmental behavior.

The objective of this study was to evaluate the content of humic substances in selected animal manures and identify their potential implications for soil and groundwater protection. Four commercially available granulated organic fertilizers, namely sheep, horse, cattle, and poultry manure, were analyzed. Humic substances were extracted with 0.5 M NaOH and characterized spectrophotometrically at wavelengths of 280, 472, and 664 nm. In addition, ash content and concentrations of nitrogen, phosphorus, magnesium, and potassium were determined. Statistical analyses included the Kruskal-Wallis test ($p \leq 0.05$) and Pearson correlation analysis.

The obtained results revealed substantial differences among manure types. Sheep manure showed the highest absorbance values associated with humified organic matter and the highest degree of humification. These characteristics indicate the presence of stable humic compounds that are less prone to migration in soil and groundwater systems. Poultry manure exhibited the highest A2/4 ratio, while cattle manure showed the highest A2/6 and A4/6 ratios, reflecting a greater contribution of fulvic fractions and less stabilized organic matter. Such properties may promote faster nutrient release but also increase the risk of nutrient leaching and contamination of groundwater resources.

The study demonstrates that the environmental performance of organic fertilizers depends not only on nutrient content but also on the quality and maturity of humic substances. The novelty of the research lies in combining spectrophotometric indices of humification with an assessment of the potential environmental behavior of commercially available organic fertilizers. The findings may support the selection of fertilizers that simultaneously improve soil fertility and minimize risks to soil-water ecosystems.

Supported by funding from the Ministry of Science under the Regional Excellence Initiative Programme. Contract No. RID/SP/0010/ 2024/1.

JURCZYK Ł., KOC-JURCZYK J., PODOLAK A., KOPKOWICZ J. (POLAND, RZESZÓW)

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SAMPLE PREPARATION ON THE RESULTS OF AT_4-BASED BIOLOGICAL ACTIVITY ASSAYS OF BIOWASTE MONOFRACTIONS

University of Rzeszów, Faculty of Technology and Natural Sciences, 1b Cwiklinskiej St., 35-601, Rzeszów, Poland; ljurczyk@ur.edu.pl

Abstract. The AT_4 respiration activity index is widely used to assess the biological stability of biodegradable waste. However, the effect of sample preparation, particularly particle size reduction, on AT_4 determination remains insufficiently recognized. This study investigated the influence of shredding time on the respiration activity of selected vegetable biowaste monofractions. The results showed that the type of material significantly affected AT_4 values, while shredding intensity primarily influenced measurement repeatability rather than the respiration activity level itself.

Main text. The AT_4 respiration activity index is one of the most important parameters used for evaluating the biological stability of biodegradable waste and products obtained from biological treatment processes. Since sample preparation is an obligatory stage preceding respirometric analyses, understanding the influence of particle size reduction on the obtained results is essential for improving methodological reliability. The objective of this study was to determine the effect of shredding intensity on AT_4 values of selected vegetable waste monofractions and to evaluate whether increasing the degree of particle size reduction enhances biological activity. Three model materials commonly occurring in household biowaste were investigated: cooked beetroot peels, raw potato peels and raw carrot peels. Each material was mechanically shredded for 15, 30, 45 and 60 s and tested in triplicate using the OxiTop® respirometric system under aerobic conditions. AT_4 values were calculated on a dry matter basis and analysed using two-way ANOVA.

The results demonstrated that the type of monofraction was the main factor differentiating respiration activity ($p < 0.001$). Carrot waste showed the highest biological activity, reaching values from 34.2 to 48.3 mg O_2/g DM, whereas potato waste exhibited the lowest activity (11.7-15.5 mg O_2/g DM). Beetroot waste showed intermediate values ranging from 17.2 to 19.6 mg O_2/g DM. The influence of shredding time was not statistically significant ($p = 0.220$), and no significant interaction between waste type and shredding intensity was observed. Nevertheless, all investigated materials reached their maximum AT_4 values after 45 s of shredding. Further increase in shredding time to 60 s resulted in lower respiration activity.

The study indicates that AT_4 values are determined primarily by substrate characteristics rather than by the degree of particle size reduction. At the same time, the results suggest the existence of an optimal shredding range that improves measurement repeatability and may contribute to further standardisation of respirometric methods used in biological stability assessment of biowaste. The observed decrease in AT_4 after excessive shredding may indicate the occurrence of an over-shredding effect, which deserves further investigation.

Supported by funding from the Ministry of Science under the Regional Excellence Initiative Programme. Contract No. RID/SP/0010/ 2024/1.

ЮНГІН О.С., КАЛІНІЧЕНКО О.О., ХОМА А.О., ОХМАТ О.А. (УКРАЇНА, КИЇВ)

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ 3D-КОЛАГЕНОВИХ КАРКАСІВ ІЗ ВІДХОДІВ ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РАНОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Київський національний університет технологій та дизайну
01011, вул. Мала Шияновська, 2, Київ, Україна; olgaungin@gmail.com

Abstract. Type I collagen from leather production waste was used to fabricate freeze-dried 3D scaffolds for a biomimetic wound model. Freezing temperature (−20 °C and −80 °C) and stabilisation by UV irradiation, glutaraldehyde vapour or solution, ethanolic tannin and tanning agents (Zr, Ti, mimosa, tannin) were compared by swelling in PBS and simulated wound fluid. Glutaraldehyde vapour gave the highest water uptake (44fold), UV-treated sponges frozen at −80 °C remained intact in wound fluid for at least 60 min, and tanning agents introduced before dialysis ensured stability for 20 h.

Шкіряна промисловість утворює значні обсяги колагеновмісних відходів, утилізація яких є екологічною проблемою. Колаген I типу з цих відходів придатний для створення 3D-каркасів для тестсистем, зокрема моделі інфікованої рани, що відповідає принципам циркулярної біоекономіки [1]. Проте незшиті ліофілізовані губки швидко руйнуються в ранових середовищах. Метою роботи було порівняти вплив температури заморожування та способу стабілізації на набрякання і стійкість таких губок.

Колаген отримували кислотним гідролізом недублених відходів шкіряного виробництва [1], губки формували заморожуванням при −20 °C або −80 °C з подальшою ліофілізацією. Порівнювали UV-опромінення, обробку парами та розчином глутарового альдегіду (ГА), танін в етанолі, а також дубильні агенти (Zr, Ti, мімоза, танін), внесені до або після діалізу колагену. Набрякання оцінювали як кратність збільшення маси $Q = m_t/m_0$ у фосфатно-сольовому буфері (PBS) та модельному рановому ексудаті (SWF).

Таблиця 1

Набрякання та стабільність колагенових губок

Спосіб стабілізації (Т заморожування)	Середовище	Q, разів (час)	Стабільність
Без зшивання (−80 °C)	SWF	6,2 (5 хв)	розчинення до 30 хв
UV, 30 хв (−80 °C)	SWF	8,1 (60 хв)	цілі ≥ 60 хв
Пари ГА (−80 °C)	PBS	44,4 (120 хв)	цілі 120 хв
Розчин ГА (−80 °C)	PBS	1,2 (120 хв)	ущільнення структури
Танін в етанолі (−20/−80 °C)	PBS	3,2–4,3 (120 хв)	затримане змочування
Танін, внесений до діалізу	PBS	17,6 (20 год)	цілі 20 год
Ti, внесений після діалізу	PBS	—	розчинення за 5–30 хв

Незшиті губки в SWF руйнувалися до 30 хв, а UV-опромінення подовжувало їхню стійкість щонайменше до 60 хв (табл. 1). Заморожування при −80 °C в усіх серіях давало кращу стабільність і менший розкид, ніж −20 °C. Обробка парами ГА зберігала пористу структуру та забезпечувала найвище водопоглинання, тоді як занурення в розчин ГА ущільнювало матрикс. Губки, оброблені таніном в етанолі, упродовж першої години практично не змочувалися, що свідчить про гідрофобізацію поверхні. Дубильні агенти, внесені до діалізу, стабілізували губки щонайменше на 20 год (для таніну $Q \approx 18$), тоді як Ti, внесений після діалізу, був неефективним. Імовірно, діаліз відтворює етап підлужнення, необхідний для зв'язування мінеральних дубителів із колагеном [2].

Отже, найперспективнішими для моделі рани є заморожування при −80 °C у поєднанні з обробкою парами ГА, UV-опроміненням або дубильними агентами, внесеними до діалізу. Подальші дослідження спрямовано на тривалі тести в SWF, оцінювання пористості та цитосумісності каркасів. Роботу виконано за підтримки НФДУ (проєкт № 2025.07/0245).

Список літератури:

1. Maistrenko, L., Iungin, O., Pikus, P., Pokholenko, I., Gorbatiuk, O., Moshynets, O., … Mokrousova, O. (2022). Collagen obtained from leather production waste provides suitable gels for biomedical applications. Polymers, 14(21), 4749. https://doi.org/10.3390/polym14214749
2. Covington, A. D. (2009). Tanning chemistry: The science of leather. Royal Society of Chemistry.

СЛОБОДАНЮК І.Р., РЕФЦЬО М.А., ТИМЧУК І.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ РОСТОВИХ СУБСТРАТІВ У ВІДНОВЛЕННІ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; ihor.slobodaniuk.asp.2025@lpnu.ua

Abstract. Engineering growth substrates based on organic wastes can support the restoration of degraded lands by improving soil properties and providing organic matter and nutrients for plant development. Properly stabilized plant, food, wood, and agro-industrial wastes can be combined to obtain substrates with suitable physical and chemical characteristics. Their effectiveness should be assessed through plant growth, root development, and soil quality indicators. This approach promotes land restoration, waste valorization, and circular bioeconomy.

Деградація земель супроводжується порушенням ґрунтового профілю, втратою органічної речовини, погіршенням водно-фізичних властивостей та зниженням здатності територій підтримувати рослинний покрив. Особливо складним є відновлення техногенно порушених земель, де природне ґрунтоутворення може бути істотно обмеженим. У таких умовах перспективним напрямом є створення інженерних ростових субстратів, здатних забезпечити рослини необхідним комплексом умов для укорінення та подальшого розвитку.

Органічні відходи різного походження можуть бути цінною сировиною для формування таких субстратів. До їх складу можуть входити відходи рослинного походження, залишки деревини, харчові та агропромислові відходи, осади стічних вод після відповідної стабілізації, а також продукти компостування та інші органічні матеріали. Їх використання дає змогу одночасно зменшити навантаження на системи поводження з відходами та повернути органічну речовину і поживні елементи у природний кругообіг.

Формування інженерного ростового субстрату потребує обґрунтованого поєднання компонентів із різними функціональними властивостями. Органічна складова забезпечує надходження вуглецю та поживних речовин, сприяє формуванню агрегатної структури й підвищенню вологоємності. Структурні компоненти визначають пористість, повітропроникність, водний режим і механічну стійкість субстрату. Важливим є також регулювання співвідношення вуглецю й азоту, кислотності, вологості та вмісту доступних форм поживних елементів. Оптимальний склад субстрату має забезпечувати достатню стабільність матеріалу та водночас сприяти розвитку кореневої системи. Екологічна безпечність органічних відходів є обов’язковою умовою їх використання у відновленні земель. Перед застосуванням необхідно контролювати вміст важких металів, патогенних мікроорганізмів, надлишкових солей та інших потенційно небезпечних компонентів. Для органічних матеріалів, що характеризуються високою біологічною активністю, важливим є попереднє компостування або інша форма стабілізації. Це дозволяє зменшити ризик фітотоксичної дії та забезпечити більш прогнозовану поведінку субстрату після його внесення.

Ефективність сформованого субстрату доцільно оцінювати за його здатністю забезпечувати проростання насіння, розвиток кореневої системи та формування рослинного покриву. Водночас перспективним є комплексний підхід, який передбачає оцінювання фізико-хімічних властивостей субстрату, його біологічної активності та змін характеристик відновлюваного ґрунту. Після нанесення субстрату важливими показниками є накопичення органічної речовини, покращення водного режиму, активізація ґрунтової мікробіоти та поступове формування стійкого рослинного покриву.

Таким чином, використання органічних відходів для створення інженерних ростових субстратів є перспективним напрямом відновлення деградованих земель, що поєднує рекультиваційні та ресурсозберігальні завдання. Раціональне комбінування різних органічних компонентів, їх попередня стабілізація та контроль екологічної безпечності дозволяють отримувати матеріали з прогнозованими властивостями. Такий підхід сприяє відновленню ґрунтових функцій, формуванню рослинного покриву та одночасному залученню органічних відходів до повторного ресурсного використання в межах циркулярної біоекономіки.

КУЛЬБАКА Д.М., ТИМЧУК І.С., СЛЮСАР В.Т., ШКВІРКО О.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ПРИРОДООРІЄНТОВАНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ ТА ЇЇ ПОДАЛЬШИМ АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; dmytro.kulbaka.asp.2025@lpnu.ua

Abstract. Nature-based solutions offer a promising approach to the treatment of domestic wastewater, particularly in small communities where conventional treatment systems may be economically and technically challenging. Constructed wetlands, phytoremediation ponds, biofilters, and infiltration systems can effectively reduce organic matter and nutrients through the combined action of plants, microorganisms, and substrate. The harvested plant biomass can be further utilized as a renewable resource through anaerobic digestion to produce biogas and nutrient-rich digestate. Integrating nature-based wastewater treatment with anaerobic digestion creates a resource-efficient cycle that combines wastewater purification, biomass valorization, renewable energy production, and nutrient recovery, supporting decentralized and circular water management.

Забруднення господарсько-побутових стічних вод залишається актуальною екологічною проблемою, особливо для малих населених пунктів, де централізовані системи водовідведення та високотехнологічні очисні споруди часто є економічно складними для впровадження та експлуатації. У таких умовах перспективним є застосування природоорієнтованих рішень (Nature-Based Solutions, NbS), які використовують природні біологічні, фізико-хімічні та біогеохімічні процеси для вилучення забруднювальних речовин зі стічних вод.

До природоорієнтованих систем очищення належать штучні та природні біоплато, фітоочисні ставки, біофільтри та інфільтраційні системи. Їх функціонування ґрунтується на комплексній взаємодії рослин, мікроорганізмів, ґрунтового або субстратного середовища та водної фази. У процесі очищення відбувається затримання завислих речовин, трансформація органічних сполук, поглинання сполук азоту й фосфору, а також часткове вилучення інших забруднювальних компонентів. Важливу роль у таких системах відіграє рослинна біомаса, яка поглинає частину поживних речовин і сприяє формуванню сприятливого середовища для мікробіологічних процесів.

Регулярне видалення надлишкової рослинної біомаси є необхідною умовою стабільної роботи фітоочисних систем. Водночас вилучена біомаса може розглядатися не як відхід, а як додатковий ресурс для подальшого енергетичного використання. Одним із перспективних способів її перероблення є анаеробне зброджування, у результаті якого органічна речовина трансформується мікроорганізмами з утворенням біогазу. Отриманий біогаз може використовуватися для виробництва теплової або електричної енергії, тоді як дигестат після відповідної оцінки його властивостей може розглядатися як потенційне джерело органічної речовини та поживних елементів.

Ефективність запропонованого підходу залежить від складу рослинної біомаси, її вологості, вмісту органічної речовини та доступності субстрату для анаеробних мікроорганізмів. Для підвищення ефективності зброджування може застосовуватися попередня механічна або інша обробка біомаси, а також її ко-зброджування з іншими органічними субстратами. Важливим є забезпечення стабільних умов анаеробного процесу та оцінювання виходу біогазу, вмісту метану й енергетичної ефективності технології.

Таким чином, поєднання природоорієнтованого очищення господарсько-побутових стічних вод із подальшим анаеробним зброджуванням рослинної біомаси формує замкнений ресурсний ланцюг. Такий підхід дозволяє одночасно забезпечувати очищення стічних вод, вилучення поживних речовин, утилізацію надлишкової біомаси та виробництво відновлюваної енергії. Інтеграція NbS із технологіями анаеробного зброджування може бути перспективною для децентралізованих систем водовідведення та сприяти переходу до ресурсоефективного і циркулярного управління водними та органічними ресурсами.

БРУСТУРНЯК Н.М., ЖУРАВЧАК В.І., САБАДАШ В.В.,
СЕРЕДА А.С., ТИМЧУК І.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОРГАНІЧНІ ВІДХОДИ ЯК РЕСУРС ДЛЯ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ МІСТА ЛЬВОВА

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; nazarii.brusturniak.meoes.2025@lpnu.ua
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
61022, майдан Свободи, 4, Харків, Харківська область

Abstract. Urbanization reduces natural areas and increases environmental pressures, highlighting the role of green infrastructure in regulating microclimate, stormwater, carbon storage, and biodiversity. Organic wastes can be converted into compost and soil amendments to support urban greenery and degraded land restoration. Integrating spatial assessment of green infrastructure with organic waste resource potential can help identify priority areas for enhancing ecosystem services in Lviv. This approach combines organic waste valorization, urban greening, soil restoration, and circular bioeconomy principles.

Інтенсивна урбанізація супроводжується скороченням площ природних територій, фрагментацією зелених насаджень, збільшенням площі штучних поверхонь та посиленням теплового навантаження на міське середовище. У таких умовах зелена інфраструктура відіграє важливу роль у регулюванні мікроклімату, затриманні атмосферних опадів, зменшенні поверхневого стоку, поглинанні вуглецю та підтриманні біорізноманіття. Для міста Львова розвиток взаємопов'язаної системи зелених територій може розглядатися як один із напрямів підвищення екологічної стійкості міського середовища.

Водночас функціонування та розширення зеленої інфраструктури потребує значних обсягів органічних матеріалів для формування ґрунтового покриву, покращення властивостей міських ґрунтів і підтримання рослинності. Органічні відходи рослинного походження, відходи догляду за зеленими насадженнями, деревна сировина та інші біогенні матеріали можуть бути перетворені на компости, мульчувальні матеріали, ґрунтополіпшувачі та інші продукти, придатні для використання у міському озелененні. Таким чином, перероблення органічних відходів може бути інтегроване у систему розвитку зеленої інфраструктури за принципами циркулярної біоекономіки.

Важливим завданням є визначення територій, на яких використання таких матеріалів може забезпечити найбільший екологічний ефект. Просторова оцінка зеленої інфраструктури міста може базуватися на аналізі площі та структури зелених територій, їх просторової зв'язаності, характеру землекористування, щільності забудови та інших факторів, що визначають здатність екосистем надавати регулюючі послуги. За допомогою геоінформаційних технологій можна визначати просторовий розподіл потенціалу зелених територій щодо регулювання температури, затримання опадів, поглинання вуглецю та покращення якості міського середовища.

Поєднання просторової оцінки екосистемних послуг із ресурсним потенціалом органічних відходів створює основу для визначення пріоритетних напрямів розвитку зеленої інфраструктури Львова. Зокрема, компостовані органічні матеріали можуть використовуватися для покращення міських ґрунтів, створення нових зелених зон, відновлення деградованих ділянок, формування дощових садів та інших природоорієнтованих елементів. Це дозволяє одночасно вирішувати проблему органічних відходів і підвищувати здатність міських екосистем виконувати регулюючі функції.

Таким чином, інтеграція ресурсного потенціалу органічних відходів із просторовою оцінкою зеленої інфраструктури є перспективним підходом до підвищення екологічної стійкості Львова. Визначення територій із дефіцитом зелених насаджень та високим потенціалом екосистемних послуг може стати основою для обґрунтування пріоритетних ділянок для використання продуктів перероблення органічних відходів. Такий підхід поєднує управління відходами, міське озеленення, відновлення ґрунтів та розвиток регулюючих екосистемних послуг у межах циркулярної та сталої моделі розвитку міста.

БАРТМАН Ю.А., ЯРЕМА Н.П., ГОЛЕЦЬ Н.Ю., ЗАХАРКО Я.М.,
СЕРЕДА А.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

РОЛЬ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ РІШЕНЬ (NBS) У ВІДНОВЛЕННІ ТА ПІДТРИМАННІ ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; yuliia.bartman.meoes.2025@lpnu.ua

Abstract. Nature-Based Solutions (NbS) provide an effective approach to restoring and maintaining ecosystem functions under increasing pressures from land degradation, urbanization, and climate change. By restoring natural processes and integrating green and blue infrastructure, NbS can improve water regulation, soil quality, carbon storage, biodiversity, and microclimate regulation. Their effectiveness can be assessed through ecological indicators and spatial monitoring. Integrating NbS into land-use planning and environmental management supports climate resilience, ecosystem restoration, and sustainable development.

Сучасні екологічні проблеми, пов'язані з деградацією земель, урбанізацією, зміною клімату, забрудненням водних ресурсів і втратою біорізноманіття, потребують комплексних підходів до управління природними ресурсами. Традиційні інженерні рішення не завжди здатні одночасно забезпечити екологічну ефективність, адаптацію до кліматичних змін та відновлення природних процесів. У цьому контексті природоорієнтовані рішення (Nature-Based Solutions, NbS) розглядаються як інструмент використання або відновлення природних процесів для вирішення екологічних і суспільних проблем.

NbS охоплюють відновлення лісових і лучних екосистем, водно-болотних угідь, створення зелених і блакитних коридорів, природне очищення води, відновлення деградованих ґрунтів, дощові сади та інші елементи зеленої інфраструктури. Їх особливістю є здатність одночасно виконувати декілька функцій. Рослинні угруповання можуть регулювати мікроклімат, поглинати вуглекислий газ, затримувати атмосферні опади, зменшувати ерозію та створювати середовище існування для живих організмів.

Відновлення екосистемних функцій за допомогою NbS ґрунтується на взаємодії компонентів екосистеми. Рослинність, ґрунт, водні об'єкти та мікроорганізми формують систему, здатну забезпечувати регулювання водного режиму, кругообіг поживних речовин, накопичення органічної речовини та підтримання біорізноманіття. На деградованих територіях NbS можуть сприяти відновленню ґрунтових властивостей, стабілізації поверхні, формуванню рослинного покриву та активізації біологічних процесів.

Особливого значення NbS набувають у містах, де природні екосистемні функції порушені високою щільністю забудови та переважанням штучних поверхонь. Зелені насадження, міські парки, зелені коридори, водно-болотні елементи та системи управління дощовими водами дозволяють зменшувати теплове навантаження, регулювати поверхневий стік, покращувати якість повітря та підтримувати біорізноманіття. Поєднання окремих NbS у взаємопов'язану зелену та блакитну інфраструктуру підвищує їх загальну екологічну ефективність.

Оцінювання результативності NbS має враховувати не лише безпосередній ефект, а й довгострокове відновлення екосистемних функцій. До відповідних показників належать зміни рослинного покриву, вміст органічної речовини у ґрунті, водоутримувальна здатність, якість води, біорізноманіття, здатність території акумулювати вуглець та регулювати температуру. Геоінформаційні технології та просторовий моніторинг дозволяють визначати території з найбільшим потенціалом для впровадження NbS та оцінювати зміни екосистемних послуг.

Таким чином, природоорієнтовані рішення є важливим інструментом відновлення та підтримання екосистемних функцій у природних, сільськогосподарських і міських ландшафтах. Їх комплексне впровадження дозволяє одночасно вирішувати завдання адаптації до зміни клімату, відновлення деградованих територій, збереження біорізноманіття та підвищення якості довкілля. Інтеграція NbS у просторове планування та управління природними ресурсами створює передумови для формування більш стійких і ресурсоефективних екосистем.

МАЛЬОВАНИЙ М., ТИМЧУК В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВИКОРИСТАННЯ СУБСТРАТІВ ТА БІОЧАРУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ

Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua

Abstract. The paper considers the use of organic substrates and biochar as soil-improving materials in agricultural systems. Combined application of composted organic residues, digestate-derived substrates and biochar can improve soil structure, water-holding capacity and nutrient retention, while supporting carbon sequestration and reducing environmental risks associated with organic waste accumulation. A combined substrate–biochar approach is proposed as a circular solution for restoring soil fertility and improving the ecological stability of agricultural lands.

Сучасне сільськогосподарське виробництво супроводжується погіршенням фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунтів, зниженням умісту органічної речовини, порушенням структури та зменшенням здатності ґрунту утримувати воду і поживні елементи. Одночасно значні обсяги органічних відходів агропромислового комплексу, харчової промисловості та комунального господарства потребують екологічно безпечного поводження. Одним із перспективних напрямів комплексного вирішення цих проблем є використання органічних субстратів і біочару для відновлення родючості та підвищення екологічної стійкості сільськогосподарських земель.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності комплексного використання органічних субстратів та біочару для покращення властивостей ґрунту і підвищення ефективності використання органічних ресурсів. Як субстрати можуть використовуватися компости на основі рослинних та харчових відходів, стабілізовані органічні матеріали та продукти перероблення органічної сировини, зокрема дигестат після анаеробного зброджування. Біочар, отриманий термохімічною переробкою біомаси в умовах обмеженого доступу кисню, доцільно застосовувати як структурний і сорбційний компонент ґрунтового середовища.

Внесення органічних субстратів сприяє поповненню запасів органічної речовини, активізації мікробіологічних процесів і поліпшенню агрегатної структури ґрунту. Це підвищує водоутримувальну здатність, зменшує ризик ерозійних втрат і забезпечує надходження нітрогену, фосфору, калію та інших елементів живлення. Водночас важливим є правильний вибір ступеня стабілізації субстрату, його вологості, співвідношення вуглецю і нітрогену та дози внесення, оскільки надмірне застосування нестабілізованої органічної речовини може спричиняти втрати поживних компонентів.

Біочар характеризується розвиненою пористою структурою, значною питомою поверхнею та здатністю утримувати воду і розчинені речовини. Його внесення може покращувати структурний стан ґрунту, підвищувати катіонообмінну здатність і сприяти утримуванню окремих форм мінеральних елементів. Особливо перспективним є використання біочару як сорбційного компонента субстратів, оскільки на його поверхні можуть фіксуватися амонійні форми нітрогену, фосфатні сполуки та органічні речовини. Ефективність біочару залежить від виду вихідної біомаси та умов його отримання, тому перед внесенням необхідно оцінювати його фізико-хімічні характеристики та екологічну безпечність.

Комбіноване застосування субстратів і біочару дає змогу поєднати швидкодіючий ефект органічної речовини з довготривалими сорбційними та структуроутворювальними властивостями стабільного вуглецевого матеріалу. Біочар може зменшувати вимивання частини розчинених сполук, а органічний компонент сприяє заселенню його поверхні мікроорганізмами та формуванню ґрунтового мікробіому. Особливо перспективним є використання дигестату в поєднанні з біочаром: після анаеробного зброджування частина органічної речовини стає стабільнішою, а сполуки нітрогену — доступнішими для рослин. Перед застосуванням таких сумішей доцільно контролювати pH, електропровідність, уміст макро- та мікроелементів, фітотоксичність і санітарні показники.

МАЛЬОВАНИЙ М., ПИЛИПЧАК І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІНТЕГРОВАНА ЦИРКУЛЯРНА БАГАТОБАР'ЄРНА ПРИРОДООРІЄНТОВАНА СИСТЕМА МІНІМІЗАЦІЇ ДИФУЗНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ

Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua

Abstract. The paper presents an integrated circular multi-barrier nature-based system for minimizing diffuse pollution of agricultural landscapes caused by the uncontrolled migration of nutrients, organic pollutants, and other contaminants with surface runoff and drainage waters. The proposed approach combines preventive measures at the source of pollution with successive nature-based barriers, creating a closed-cycle system for retaining, transforming, and reusing nutrients and organic matter.

Концептуальною основою системи є циркулярне управління потоками поживних речовин із використанням інкапсульованих біорозкладних добрив. Їх контрольоване вивільнення дає змогу синхронізувати надходження поживних речовин із потребами сільськогосподарських культур, зменшити втрати поживних речовин із ґрунтів і, відповідно, знизити утворення дифузного забруднення. Біорозкладні матеріали, що використовуються для інкапсуляції, надалі включаються до природних біогеохімічних циклів, що посилює циркулярний характер запропонованої технології.

Другим бар'єром є рослинні буферні зони та створені системи біоплато, призначені для перехоплення й очищення забрудненого поверхневого стоку та дренажних вод. Ці системи забезпечують механічне затримування завислих речовин, біологічне поглинання поживних речовин, трансформацію органічних забруднювачів і стимулювання природних процесів самоочищення. Завершальний етап очищення передбачає сорбційне доочищення із використанням біовугілля та інших вуглецевмісних сорбентів, що підвищує ефективність утримання залишкових забруднювачів і зменшує їх міграцію до поверхневих та підземних вод.

Важливою особливістю запропонованого підходу є інтеграція сільськогосподарського виробництва, очищення стічних вод, відновлення ресурсів та охорони довкілля в єдиний циркулярний технологічний ланцюг. Органічні залишки та інша доступна місцева біомаса можуть перетворюватися на цінні продукти, зокрема біовугілля та компост, які надалі можуть використовуватися як ґрунтові меліоранти або сорбційні матеріали. Це сприяє відновленню вуглецю та поживних речовин, зменшенню утворення відходів і покращенню якості ґрунтів. Запропонована багатобар'єрна система ґрунтується на принципі запобігання забрудненню, а не ліквідації його наслідків. Її впровадження може зменшити втрати поживних речовин, покращити екологічний стан агроландшафтів, знизити вплив дифузного забруднення на водні об'єкти та підвищити ефективність використання природних ресурсів. Поєднання принципів циркулярної економіки з природоорієнтованими рішеннями створює можливості для розвитку стійких агроекосистем і сталого сільськогосподарського виробництва в умовах посилення екологічних і кліматичних викликів. Інтегрована система також створює можливості для практичного впровадження в межах басейнового управління та кліматично стійкого сільського господарства. Поєднання контролю забруднення в джерелі його утворення, децентралізованого очищення, відновлення ресурсів та відновлення екосистем дає змогу застосовувати запропонований підхід на рівні окремих фермерських господарств, сільськогосподарських підприємств і малих водозборів. Використання доступної місцевої біомаси та біорозкладних матеріалів зменшує залежність від зовнішніх ресурсів і сприяє розвитку економічно доцільних та екологічно безпечних технологій зниження дифузного аграрного забруднення.

Ефективність запропонованої системи залежить від узгодженого функціонування її окремих бар'єрів та адаптації їх параметрів до місцевих ландшафтних і гідрологічних умов. Моніторинг концентрацій поживних речовин, завислих речовин, органічної речовини та окремих пріоритетних забруднювачів на різних етапах технологічного ланцюга очищення створює основу для оцінювання ефективності бар'єрів та оптимізації системи. Такий адаптивний підхід дає змогу регулювати інтенсивність вивільнення добрив, розміри та рослинний склад буферних зон, а також сорбційну ємність завершального етапу очищення відповідно до сезонних змін обсягів стоку та навантаження забруднювачами.

МАЛЬОВАНИЙ М., ГРИЦЕНКО Н., ГУМНИЦЬКИЙ Я. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНИХ СТОКІВ

Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua

Abstract. The paper presents nature-based solutions for the treatment of diffuse runoff generated in agricultural landscapes. The proposed approach combines treatment wetlands, vegetated buffer strips, bioplato systems and natural sorbents to reduce nutrient, pesticide and suspended solids loads before they reach surface waters. These solutions improve water quality, enhance biodiversity and contribute to sustainable river basin management.

Забруднення поверхневих вод дифузійними стоками є однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасного природокористування. Основними джерелами дифузійного забруднення є поверхневий змив із сільськогосподарських угідь, меліоративних систем, автомобільних доріг, населених пунктів та інших територій, де забруднювачі потрапляють у водні об'єкти не через окремі точки скиду, а розподіленими потоками. Такі стоки містять сполуки нітрогену і фосфору, завислі речовини, органічні сполуки, залишки пестицидів, важкі метали та інші компоненти, що погіршують екологічний стан річок, озер і водосховищ.

В умовах реалізації Водної рамкової директиви Європейського Союзу та сучасної політики управління річковими басейнами особливого значення набувають природоорієнтовані рішення (Nature-based Solutions, NbS), які використовують природні процеси для очищення води, регулювання стоку та відновлення екосистем. На відміну від традиційних інженерних споруд, природоорієнтовані технології поєднують високу екологічну ефективність, економічну доступність і здатність забезпечувати додаткові екосистемні послуги.

Метою дослідження є обґрунтування комплексу природоорієнтованих рішень для очищення дифузійних стоків агроландшафтів із використанням природних процесів сорбції, фільтрації та біологічної трансформації забруднювачів. Запропонований підхід базується на створенні багатоступеневої системи очищення, що включає буферні смуги, біоплато, локальні водно-болотні угіддя та природні сорбційні матеріали.

Одним із найбільш ефективних елементів системи є біоплато – інженерно створені водно-болотні екосистеми, засаджені вищою водною рослинністю. Очерет звичайний, рогіз широколистий, ситник та осоки забезпечують інтенсивне поглинання біогенних елементів, а також створюють сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, які здійснюють процеси нітрифікації та денітрифікації. Біоплато забезпечують зменшення концентрації завислих речовин, органічних забруднювачів та біогенних сполук, одночасно підвищуючи біорізноманіття території.

Для інтенсифікації очищення доцільно використовувати природні дисперсні сорбенти на основі бентонітових глин, цеолітів, глауконіту та інших алюмосилікатних матеріалів. Завдяки високій катіонообмінній ємності вони ефективно вилучають амонійний азот, фосфати, важкі метали та окремі органічні забруднювачі. Модифікування природних сорбентів сполуками заліза або кальцію дозволяє підвищити їх сорбційну активність щодо сполук фосфору та забезпечити тривалу експлуатацію очисних бар'єрів.

Комплексне поєднання біоплато, буферних смуг, сорбційних бар'єрів і локальних ставків-накопичувачів формує багатобар'єрну систему очищення дифузійних стоків. На першому етапі відбувається механічне осадження завислих речовин, на другому – сорбційне вилучення розчинених забруднювачів, а на завершальному – біологічне очищення завдяки діяльності рослин і мікроорганізмів.

МАЛЬОВАНИЙ М., ПОПОВИЧ О., БАРАН Н. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІНТЕГРОВАНА ЦИРКУЛЯРНА БАГАТОБАР'ЄРНА ПРИРОДООРІЄНТОВАНА СИСТЕМА МІНІМІЗАЦІЇ ДИФУЗНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ

Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua

Abstract. The paper considers innovative approaches to the treatment of landfill leachate, which is one of the most environmentally hazardous wastewater streams generated during municipal solid waste disposal. A multi-stage treatment concept combining physicochemical, sorption, electrochemical and nature-based methods is proposed. Particular attention is paid to the use of modified mineral and carbon sorbents, advanced oxidation processes, membrane technologies and constructed bioplato systems. The integration of these methods makes it possible to reduce the concentrations of organic pollutants, ammonium nitrogen, heavy metals and other persistent contaminants and to increase the reliability of leachate treatment. The proposed technological approach is based on the principles of resource efficiency, circular economy and adaptation to the specific composition of landfill leachate.

Традиційні технології очищення фільтратів, які базуються переважно на біологічних процесах, коагуляції та відстоюванні, не завжди забезпечують необхідний рівень очищення. Це особливо характерно для стабілізованого фільтрату старих полігонів, у якому частка важкоокиснюваних органічних сполук є високою, а співвідношення біологічної та хімічної потреби в кисні знижується. Тому перспективним напрямом є формування комбінованих технологічних схем, у яких окремі методи доповнюють один одного та забезпечують послідовне вилучення різних груп забруднювачів.

Інноваційний підхід передбачає попереднє фізико-хімічне очищення фільтрату із застосуванням коагулянтів та флокулянтів, яке дає змогу знизити вміст завислих речовин і частини високомолекулярних органічних сполук. На наступному етапі доцільним є використання модифікованих мінеральних сорбентів на основі бентонітових глин, цеолітів та інших природних матеріалів, а також вуглецевих сорбентів і біовугілля. Модифікування поверхні сорбентів дозволяє підвищити їх селективність щодо амонійного азоту, важких металів, органічних речовин та інших компонентів фільтрату. Перевагою такого підходу є можливість використання доступної природної сировини та вторинної біомаси для отримання сорбційних матеріалів. Для деструкції стійких органічних забруднювачів перспективним є застосування передових окиснювальних процесів, зокрема реагенту Фентона, пероксидного окиснення, озонування та комбінованих окиснювально-сорбційних процесів. Такі технології можуть застосовуватися як самостійний етап або як попередня підготовка фільтрату перед біологічним чи сорбційним очищенням.

Завершальними бар’єрами можуть бути мембранні та природоорієнтовані технології. Застосування ультрафільтрації, нанофільтрації або зворотного осмосу забезпечує високий ступінь видалення розчинених речовин, однак потребує контролю утворення концентрату. Для доочищення після фізико-хімічних етапів перспективним є використання біоплато з вищою водною рослинністю, де відбуваються фільтрація, сорбція, біологічне поглинання та трансформація залишкових забруднювачів. Поєднання технічних і природоорієнтованих бар’єрів дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити екологічну надійність системи.

Важливою складовою інноваційної технології є ресурсно-орієнтований підхід до поводження з продуктами очищення. Осади, сорбенти після використання та інші побічні продукти повинні розглядатися не лише як відходи, а й як потенційні джерела матеріалів для подальшого використання після відповідної стабілізації та оцінювання їх екологічної безпеки. Застосування біовугілля, отриманого з місцевої біомаси, одночасно сприяє утилізації органічних залишків, зв’язуванню вуглецю та створенню ефективного сорбційного матеріалу.

Отже, найбільш перспективною є багатобар’єрна система очищення фільтратів, у якій поєднуються коагуляція, модифікована сорбція, передові окиснювальні процеси, мембранне розділення та природоорієнтоване доочищення.

ЧЕРНЯК Л.М., КВАЛЄРАШВІЛІ Д.В., ВІДМАЧЕНКО В.О. (УКРАЇНА, КИЇВ),
МАНЄЦКІ Т., ЧЄШЕЛЬСКІ Р. (ПОЛЬЩА, ЛОДЗЬ)

ВИКОРИСТАННЯ ДИГЕСТАТУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ, У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Національний університет «Київський авіаційний інститут»,
03058, проспект Любомира Гузара, 1 м. Київ, Україна; larysa.cherniak@kai.npp.edu.ua
Лодзинський технічний університет, вул. Стефана Жеромського 116, 90-924 Лодзь, Польща

Abstract. This study evaluates the potential of digestate for remediating petroleum-contaminated soils within a sustainable development framework. The findings demonstrate that digestate application significantly enhances biological processes in contaminated soil, though its efficacy remains contingent upon application rates, contamination severity, and exposure duration. Overall, the empirical evidence underscores digestate utilization as a viable circular-economy strategy, converting a biogas byproduct into a valuable asset for environmental restoration.

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами є актуальною екологічною проблемою, характерною для територій, пов'язаних із функціонуванням транспортної, енергетичної та промислової інфраструктури. Забруднення ґрунтів нафтопродуктами спричиняє зміни його фізико-хімічних і біологічних властивостей, порушує функціонування ґрунтової мікробіоти, пригнічує рослинність та знижує здатність ґрунтових екосистем до природного відновлення. У контексті сталого розвитку особливої актуальності набувають технології ремедіації, які поряд із відновленням ґрунтів передбачають раціональне використання ресурсів та повторне залучення побічних продуктів виробництва до господарського циклу. Одним із перспективних матеріалів для таких технологій є дигестат – побічний продукт анаеробного зброджування органічної сировини під час виробництва біогазу [1-2]. Завдяки вмісту органічної речовини та доступних форм поживних елементів внесення дигестату може покращувати умови функціонування ґрунтової біоти та стимулювати біологічні процеси, пов'язані з відновленням ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

У межах проведених досліджень оцінювали можливість використання дигестату для відновлення ґрунту, забрудненого дизельним паливом. Досліджували внесення дигестату в концентраціях 10, 15 та 20 % за різних рівнів нафтового забруднення. Ефективність відновлення оцінювали за зміною біологічної активності ґрунту, зокрема активності поліфенолоксидази, яка може використовуватися як інформативний показник реакції ґрунтової системи на забруднення та ремедіаційний вплив.

Отримані результати засвідчили, що внесення дигестату сприяло активізації біологічних процесів у забрудненому ґрунті, однак характер ефекту залежав від його концентрації, тривалості експерименту та рівня нафтового забруднення. Зокрема, на проміжних етапах дослідження виражений позитивний ефект спостерігався за внесення 15 % дигестату, тоді як за більш тривалого періоду експозиції для окремих досліджених варіантів кращі показники були встановлені при використанні 20 % дигестату**.** Це свідчить про необхідність диференційованого вибору кількості дигестату залежно від конкретних умов ремедіації та підтверджує перспективність подальшої оптимізації його застосування.

Важливо, що використання дигестату для відновлення забруднених ґрунтів має не лише ремедіаційне, а й важливе значення для сталого розвитку. Такий підхід дозволяє поєднати два екологічно орієнтовані процеси: виробництво відновлюваної енергії з органічної сировини та відновлення деградованих ґрунтових екосистем. Побічний продукт виробництва біогазу не вилучається з матеріального циклу, а набуває нової функції як ресурс для ремедіації. Таким чином формується замкнений ланцюг «органічна сировина/відходи → біогаз → дигестат → відновлення забрудненого ґрунту»**,** що відповідає принципам циркулярної економіки. Застосування такого підходу потенційно сприяє зменшенню обсягів відходів, раціональнішому використанню вторинних ресурсів, скороченню потреби в спеціально вироблених матеріалах для ремедіації та відновленню екосистемних функцій ґрунтів. Це узгоджується насамперед із ЦСР 7 «Доступна та чиста енергія», ЦСР 12 «Відповідальне споживання та виробництво» та ЦСР 15 «Захист та відновлення екосистем суші».

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують перспективність використання дигестату як компонента технологій відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Його застосування доцільно розглядати не лише як спосіб стимулювання відновних процесів у ґрунті, а як комплексне стале рішення, що трансформує побічний продукт виробництва відновлюваної енергії у ресурс для відновлення довкілля**.**

Семінар 8 **Seminar 8**

Наукове online-видання

СТАЛИЙ РОЗВИТОК: ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ. ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

IX МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС
7-8 жовтня 2026, Україна, Львів

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

Відповідальний редактор Online-видання	Я. Ярощенко
Технічний редактор Online-видання	Л. Ґудзик
Комп'ютерний набір тексту	О. Венгер
Дизайн обкладинки	О. Іващенко

Цитування:
Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. IX Міжнародний конгрес, 7-8 жовтня 2026, Україна, Львів : зб. матер. / НУ «Львів-ка. політ-ка» — Електрон. дан. — Київ : ГО «МНГ», 2026. — 405 с.: рис., табл. — on-line. — Режим доступу: https://inter-sci-guild.org.ua/stalyy-rozvytok-ix-mizhnarodnyy-konhres-2026

Видавець Online Academic Publishing Center
ГО «Міжнародна наукова гільдія» / НВЦ
Inter-Sci-Guild / https://inter-sci-guild.org.ua/publishing
publishing.7456@gmail.com / Telegram: @OnlinePublishing
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 7456 від 23.09.2021 року
Sci-Book-Shop https://inter-sci-guild.org.ua/book-shop

