



ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ:

ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО,
ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МОНІТОРИНГ

**VI Міжнародна науково-технічна конференція
15-17 жовтня 2025, Україна, Львів**

Збірник матеріалів



**ВОДОПОСТАЧАННЯ
І ВОДОВІДВЕДЕННЯ:
ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО,
ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МОНІТОРИНГ**

**VI МІЖНАРОДНА НАУКОВА-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
15-17 жовтня 2025, Україна, Львів**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

Київ
Яроченко Я. В.
2025



**WATER SUPPLY
AND WASTEWATER DISPOSAL:
DESIGNING, CONSTRUCTION,
OPERATION AND MONITORING**

VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE
15-17 October 2025, Ukraine, Lviv

PROCEEDINGS

Київ
Яроченко Я. В.
2025



Національний університет «Львівська політехніка»
Університет «Люблінська політехніка», м. Люблін, Польща
Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги

ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ: ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МОНІТОРИНГ

**VI МІЖНАРОДНА НАУКОВА-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
15-17 жовтня 2025, Україна, Львів**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

Київ
Яроченко Я. В.
2025



National University Lviv Polytechnic, Lviv, Ukraine
Lublin University of Technology, Lublin, Poland
All-Ukrainian Environmental League, Kyiv, Ukraine

WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISPOSAL: DESIGNING, CONSTRUCTION, OPERATION AND MONITORING

VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE
15-17 October 2025, Ukraine, Lviv

PROCEEDINGS

Київ
Яроченко Я. В.
2025

УДК 556.11

В 62

DOI <https://doi.org/10.51500/7826-59-9>



Національний університет «Львівська політехніка»
Університет «Люблінська політехніка», м. Люблін, Польща
Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги

National University Lviv Polytechnic, Lviv, Ukraine
Lublin University of Technology, Lublin, Poland
All-Ukrainian Environmental League, Kyiv, Ukraine

Рецензенти / Reviewers:

Пляцук Л. Д. <i>Prof. L. Pliatsuk</i>	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету. <i>Sumy State University.</i>
Шмандій В. М. <i>Prof. Shmandiy</i>	доктор технічних наук, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського. <i>Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy.</i>
Адаменко Я. О. <i>Prof. Adamenko</i>	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. <i>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.</i>

В 62 Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг. VI міжнародна науково-технічна конференція, 15-17 жовтня 2025, Україна, Львів : зб. матер. — Електрон. дан. — Київ : Яроченко Я. В., 2025. — 146 с. : рис., табл., фот. — on-line. = *Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring. VI International Scientific-Technical Conference, 15-17 October 2025, Ukraine, Lviv : Proceedings — Eelectron. Data — Kyiv : Ya.Yarochenko, 2025. — 146 p. : illustrations, tables, photographs — on-line.*

ISBN 978-617-7826-59-9 (on-line)

Збірник матеріалів містить тези учасників VI Міжнародній науково-технічній конференції «Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг», що проводилася 15-17 жовтня 2025 року на базі Національного університету «Львівська політехніка» у місті Львові. Всі матеріали подано в авторській редакції. Відповідальність за точність поданих фактів, цитат, цифр і прізвищ несуть автори.

The collection of proceedings of the conference includes participants' abstracts of VI International Scientific- Technical Conference "Water Supply and Wastewater Disposal Designing, construction, operation and monitoring" took place on 15-17 October 2025 at Lviv Polytechnic National University, Lviv.

УДК=UDK 556.11

ISBN 978-617-7826-59-9 (on-line)

© Авторський колектив, 2025
© НУ «Львівська політехніка», 2025
© Яроченко Я. В., 2025

Науковий комітет конференції

Голова наукового комітету:

Мальований Мирослав – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна;
Ковальська Беата – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща.

Члени наукового комітету:

Собчук Генрік – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Гумницький Ярослав – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна;
Ковальські Даріуш – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Квєтневські Мар'ян – д.т.н., проф., Варшавська політехніка, Польща;
Макія Яцек – д.т.н., проф., Міжнародна асоціація з водних ресурсів / Гданська політехніка, Польща;
Боровські Габрієль – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Мороз Олександр – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна;
Гіроль Микола – д.т.н., проф., Національний університет водного господарства та природокористування, Україна;
Ткачук Олександр – д.т.н., проф., Національний університет водного господарства та природокористування, Україна;
Ковальчук Віктор – д.т.н., проф., Національний університет водного господарства та природокористування, Україна;
Кузьмінський Євгеній – д.т.н., проф., НТУУ «Київський політехнічний інститут», Україна;
Саблій Лариса – д.т.н., проф., НТУУ «Київський політехнічний інститут», Україна;
Проскурнін Олег – д.т.н., проф., Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), Україна;
Чернюк Володимир – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна;
Жук Володимир – к.т.н., доц., Національний університет «Львівська політехніка», Україна;
Мацієвська Оксана – к.т.н., доц., Національний університет «Львівська політехніка», Україна;
Лютєк Войцек – к.т.н., доц., Університет Марії Кюрі-Склодовської, Польща;
Зімох Ізабелла – д.т.н., проф., Сілезька політехніка, Польща;
Райфур Малгожата – д.т.н., проф., Університет Опольський, Польща;
Долганчик-Срудка Агнешка – д.т.н., проф., Університет Опольський, Польща;
Гловацька Анна – д.т.н., проф., Університет Опольський, Польща;
Зубровська-Судол Моніка – д.т.н., проф., Варшавська політехніка, Польща;
Монтусєвіч Агнешка – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Яцек Червінський – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Відомські Мартін – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Сухораб Збігнєв – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Лагуд Гжегош – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Дреновський Якуб – д.т.н., проф., Міжнародна асоціація з водних ресурсів / Гданська політехніка, Польща;
Іванек Малгожата Аліна – д.т.н., проф., Люблінська політехніка, Польща;
Кроліковська Ядвіга – д.т.н., проф., Краківська політехніка, Польща;
Шалінська ван Овердійк Ева Пауліна – д.т.н., проф., Науково-технічний університет імені Станіслава Сташича у Кракові, Польща;
Шалінська ван Овердійк Ева Пауліна – д.т.н., проф., Науково-технічний університет імені Станіслава Сташича у Кракові, Польща.



Co-funded by
the European Union



AGRI
BIOCIRCULAR HUB



Scientific Committee

Head of Scientific Committee:

Prof, D.Sc. M. Malovanyy – Lviv Polytechnic National University
Prof., dr hab. inż. B. Kowalska – Lublin University of Technology

Scientific Committee Members:

Prof. dr hab. H. Sobczuk – Lublin University of Technology
Prof., D.Sc. Ya. Humnytskyi – Lviv Polytechnic National University
Prof. PL, dr hab. inż. D. Kowalski – Lublin University of Technology
Prof., dr hab. inż. M. Kwietniewski – Warsaw University of Technology
Prof., dr hab. inż. J. Mąkinia – IWA Poland / Gdańsk University of Technology
Prof. dr hab. inż. G. Borowski - Lublin University of Technology
Prof., D.Sc. O. Moroz - Lviv Polytechnic National University
Prof, D.Sc. M.Hirol - NUWM
Prof., D.Sc. O. Tkachuk - NUWM
Prof., D.Sc. V. Kovalchuk - NUWM
Prof, D.Sc. Ye. Kuzminsky - NTUU „KPI”
Prof, D.Sc. L. Sabliy - NTUU „KPI”
Prof, D.Sc. O. Proskurnin - Ukrainian Research Institute of Environmental Problems
Prof, D.Sc. V. Chernyuk - Lviv Polytechnic National University
Assoc.Prof., C.Sc. V. Zhuk - Lviv Polytechnic National University
Assoc.Prof, C.Sc. O. Matsiyevska - Lviv Polytechnic National University
Assoc.Prof., C.Sc. W. Lutek- Maria Curie Skłodowska University
Prof. dr hab. inż. I. Zimoch - Silesian University of Technology
Prof. UO, dr hab. M. Rajfur - University of Opole
Prof. UO, dr hab. A. Dolhańczuk-Śródka - University of Opole
Prof. ZUT, dr hab.inż. A. Głowacka - University of Opole
Prof. PW, dr hab. inż. M. Żubrowska-Sudol - Warsaw University of Technology
Prof. PL, dr hab. inż. A. Montusiewicz - Lublin University of Technology
Prof. PL, dr hab. inż. J. Czerwiński - Lublin University of Technology
Prof. PL dr hab. inż. M. K. Widomski - Lublin University of Technology
Prof. PL dr hab. inż. Z. Suchorab - Lublin University of Technology
Prof. PL dr hab. inż. G. Łagód - Lublin University of Technology
Prof. PG, dr hab. inż. J. Drewnowski - IWA Poland / Gdańsk University of Technology
Prof. PL, dr hab. inż. M. Iwanek - Lublin University of Technology
Prof. PK, dr hab. inż. J. Królikowska - Krakow University of Technology
Prof. AGH dr hab. inż. E. Szalińska Van Overdijk - AGH Krakow



Co-funded by
the European Union



AGRI

BIOCIRCULAR HUB



CONTENTS

1.	КАСІЯНЧУК Д.В. ОЦІНКА ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ДЛЯ ПОТРЕБ ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРИКЛАДІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА.....	13
2.	DOMINGUEZ L., KHOZHLOVA L. THE ZUBRA RIVER WETLAND RESTORATION PROJECT IN LVIV, UKRAINE.....	15
3.	КРИХОВЕЦЬ О.В., РУБАЙ О.І., РЕПЕТА В.Б. ТЕХНОЛОГІЧНА НЕОБХІДНІСТЬ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	16
4.	НАГУРСЬКИЙ О.А., МАРФУТІН А.Б. ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ РАДОНОВІСНОЮ БУДІВЕЛЬНОЮ СИРОВИНОЮ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ.....	17
5.	ЗАВИТІЙ І.Є., МАЛЬОВАНИЙ М.С. МОНІТОРИНГ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ВІЬКОВИХ ДІЙ.....	19
6.	НАГУРСЬКИЙ Н.О., БОРДУН І.М., МАЛЬОВАНИЙ М.С., БОРИСЮК А.К. АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКОМПОЗИТІВ Fe ₃ O ₄ /C, СИНТЕЗОВАНИХ ІЗ СОЛОМИ ПШЕНИЦІ.....	20
7.	БЕЗОВСЬКА М.С., РОЗГОН О.В., ГОРЬ М.К. НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ.....	21
8.	НАГУРСЬКИЙ О.А., ЧОРНЕНЬКИЙ В.М. АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В ТЕХНОЛОГІЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТІВ.....	22
9.	НАГУРСЬКИЙ О.А., БРАНОВСЬКИЙ М.В. МОНІТОРИНГ НІТРАТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДЖЕРЕЛ ПИТНОЇ ВОДИ У УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ.....	23
10.	КОЧУБЕЙ В.В., ЯРЕМЧУК Я.В., ЯГОЛЬНИК С.Г., МАЛЬОВАНИЙ М.С. ВПЛИВ рН СЕРЕДОВИЩА НА СОРБЦІЙНУ ЗДАТНІСТЬ ЗАКАРПАТСЬКОГО БЕНТОНІТУ ІЛЬНИЦЬКОГО РОДОВИЩА.....	24
11.	СЕМЕНЧУК О.Р., НАГУРСЬКИЙ О.А. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТОРГОВО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ НА ЯКІСТЬ ПІДЗЕМНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД.....	25
12.	КОРОЛЕВИЧ Н.М., ДЯЧОК В.В. МІНІМІЗАЦІЯ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ.....	26
13.	БІЛАН Л.М., ЛЮТА О.В. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПЛАСТИКІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВИ ПЛАСТИКУ.....	27
14.	ТКАЧЕНКО А.С., ЛЮТА О.В. АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	28
15.	MATS A., MITRYASOVA O. DYNAMICS OF DISSOLVED OXYGEN AND BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD ₅) IN SURFACE WATERS.....	29
16.	ДУБІЛЬ І.П., МАЛЬОВАНИЙ М.С. ПЕР- ТА ПОЛІФТОРАЛКІЛЬНІ РЕЧОВИНИ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ: НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ.....	30
17.	ДОБРЯНСЬКА М.М., МАЛЬОВАНИЙ М.С. ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ ЙОГО ВИДАЛЕННЯ.....	31
18.	МАЛЬОВАНИЙ М., ЖУК В., ТИМЧУК І., ГРИЦЕНКО Н. ОСОБЛИВОСТІ АЕРОБНОГО ОЧИЩЕННЯ «МОЛОДИХ» ТА «СТАРИХ» ФІЛЬТРАТІВ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	32
19.	ШЕВЧЕНКО Т.О., САМОХІН Є.І. ВПЛИВ ОСАДІВ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД НА ДОВКІЛЛЯ.....	33
20.	ВЕНГЕР Я.А., ДЯЧОК В.В., ВЕНГЕР Л.О., ЧЕЛЯДИН Л.І. МОНІТОРИНГ ЦВІТІННЯ ВОДОРОСТЕЙ У НЕВЕЛИКИХ ОЗЕРАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ДРОНІВ.....	35
21.	ПЕТРУШКА І.М., БАРНА О.М. ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ ВІДХОДІВ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ.....	37
22.	ПЕТРУШКА І.М., ЛЯШОВСЬКИЙ А.І., ІВАХА О.І. РОЛЬ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА.....	38

23.	ПЕТРУШКА І.М., ГОЛДРИЧ А.І., КОЗАК Б.Р. ДИФУЗІЯ ТА КОНВЕКЦІЯ ІОНІВ КАДМІЮ З ҐРУНТУ У ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ.....	39
24.	ГАНЯК О.І., ПОПОВИЧ О.Р. ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ І ВОДАХ МІСТ,ЩО ПОСТРАЖДАЛИ ВІД РУЙНУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІД ЧАС ВІЙНИ.....	40
25.	ОВЕРЧЕНКО Т.А., ІВАНЕНКО О.І., ФРОЛЕНКОВА С.В., КРИЖАНОВСЬКА Я.П. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ШАХТНИХ ВОД ПІД ЧАС ВИПАРОВУВАННЯ.....	41
26.	АНДРОНОВ В.А. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПИТНОЮ ВОДОЮ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ.....	42
27.	ДОБРЯНСЬКА М.М., МАЛЬОВАНІЙ М.С. ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ ЙОГО ВИДАЛЕННЯ.....	44
28.	ПОПОВИЧ С.П., ПОПОВИЧ О.Р., МАЛЬОВАНІЙ М.С. ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ РЕСУРСИ ТА РОЛЬ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ У ЇХ МОНІТОРИНГУ.....	45
29.	МАКСИМЮК А.Б., ПОПОВИЧ О.Р., ПОПОВИЧ С.П. ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ЯКІСТЬ ВОДИ У РІЧКАХ.....	46
30.	МОКІЄНКО А.В. ХІМІКО-МІКРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІОКСИДУ ХЛОРУ ЯК ЗАСОБУ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ.....	47
31.	КАЛЬМУК С.Д., САХНЮК І.І. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ТА ЇЇ ЗМІН У ПРИВАТНИХ ДОМОГОСПОДАРСТВАХ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ СМТ БРЮХОВИЧІ (м. ЛЬВІВ, УКРАЇНА).....	48
32.	ДРИГУЛИЧ С.П., ОРФАНОВА М.М., ДРИГУЛИЧ П.Г. ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ У НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ.....	50
33.	ДИЧКО А., МІНАЄВА Ю. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ БІОХІМІЧНИМ ОЧИЩЕННЯМ СТІЧНИХ ВОД.....	52
34.	ПЯТИШКІНА П.Д., БОЛЬШАНИНА С.Б., РАЗІНЬКОВА Е.Е., ІВЧЕНКО В.Д. БІОСОРБЕНТ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ ТА НІТРИФІКУЮЧИХ БАКТЕРІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК АМОНІЮ.....	53
35.	БОРДУН М.І., СОКОЛОВСЬКИЙ Я.І. ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ РІЧКИ ДНІПРО.....	55
36.	MASIKEVYCH Yu.G., MASIKEVYCH A.Yu., BURDENYUK I.P. INITIATION OF MONITORING OF THE DNISTER RIVER WATER AREA ACCORDING TO THE DATA OF MICROBIOLOGICAL RESEARCH WITHIN THE TERRITORY OF THE PROTECTED AREAS.....	56
37.	РИЛЬСЬКИЙ О.Ф., ДОМБРОВСЬКИЙ К.О., ПЕТРУША Ю.Ю., ПРИТУЛА Н.М. УГРУПОВАННЯ ЗООПЕРИФІТОНУ В БІОКОНВЕСРНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ.....	57
38.	ГОЛУС В.А. ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОЕФЕКТИВНІСТЬ: ДОСВІД ЗЕЛЕНИХ СТАНДАРТІВ.....	58
39.	ТКАЧУК О.А., КІЗЄСВ М.Д., ШЕВЧУК О.В. ОЦІНКА ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ ТРУБОПРОВОДІВ ЧЕРЕЗ ГІДРАВЛІЧНУ ТОВЩИНУ ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ.....	59
40.	АНТОНОВ М.Д., МАЛЬОВАНІЙ М.С. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА КІЛЬКІСНО-ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ТА СУМІЖНІ СФЕРИ ДІЯЛЬНОСТІ.....	61
41.	МАРТИНОВ С.Ю., КЛІМОВ С.В. ОСОБЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕК ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ ПЛАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ВОДИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	63
42.	POLIAKOV V., MARTYNOV S. ON THE INTENSIFICATION OF IRON REMOVAL FROM DEEP GROUNDWATER USING RAPID FILTERS.....	65
43.	SOROKINA K. ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SEASONAL VARIATIONS IN WATER QUALITY ON THE COAGULANT DOSE.....	66
44.	САЛАМАХА І.Ю., ГОРДІЙЧУК Л.М., GERMANOVICH O.M. ВПЛИВ СКІДІВ ЗАБРУДНЕНИХ ЗВОРОТНИХ ВОД ЛОКАЛЬНИХ ВОДОКОРИСТУВАЧІВ НА ЕКОСИСТЕМИ МАЛИХ РІЧОК ЛЬВІВЩИНИ.....	68

45.	RADOMSKA M., YAROKHMEDOVA I. MANAGEMENT OF URBAN BLUE INFRASTRUCTURE: URBAN RIVERS REVIVAL ISSUES.....	69
46.	ВАСІЙЧУК В.О., КУЧЕРА Я.Й., ГУЛЬКО О.М. УТИЛІЗАЦІЯ РІДКИХ МАГНІЙХЛОРИДНИХ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІМІНЕРАЛЬНОЇ КАЛІЙНОЇ СИРОВИНИ.....	70
47.	МЕЛЬНИК С.О., ПОПОВИЧ О.Р. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА МОНІТОРИНГУ АВАРІЙНИХ СКИДІВ У ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ.....	71
48.	САДОВИЙ П.В., ПОПОВИЧ О.Р. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ГАЛУЗІ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ.....	72
49.	РИЖУК І.М., ВРОНСЬКА Н.Ю. ОСОБЛИВОСТІ ПРАВОВОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ЕКОЛОГІЧНІ ПРАВОПОРУШЕННЯ В УКРАЇНІ.....	73
50.	ПОЛІЩУК Д.В. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ ЗБОРУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОЩОВИХ І ТАЛИХ ВОД У БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКАХ.....	75
51.	МАСЬЦЬКИЙ М.М. ОДНОРІГ З.С. ВПЛИВ БУРОВОГО ШЛАМУ НА ВОДНІ РЕСУРСИ: РИЗИКИ, НАСЛІДКИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ.....	76
52.	РИЛЬСЬКИЙ О.Ф., РИЛЬСЬКИЙ І.О., ПЕТРУША Ю.Ю., ДОМБРОВСЬКИЙ К.О. ЗМІНА КЛІМАТУ ТА ДЕФІЦИТ ПРІСНОЇ ВОДИ В БІОСФЕРІ.....	78
53.	ПОДШИВАЙЛОВА Т.О., ПЕТРУШКА К.І. СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ПЕРЕРОБКИ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ.....	79
54.	ПЕТРУШКА К.І., СВІТЛИК О.Р. ВОДА ТА СТІЧНІ ВОДИ: ВИКЛИКИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ.....	80
55.	КАРДАШ А.А., ПЕТРУШКА К.І. КОМПОСТУВАННЯ ЯК ТЕХНОЛОГІЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД У РЕСУРС.....	81
56.	БУДНІК С.В. СУЧАСНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВОД СУШІ ТА ДЕЯКІ ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ЇЇ КОРЕГУВАННЯ.....	82
57.	NYKONIUK E., LIUTA O. WATER SUPPLY ISSUES IN AFFECTED REGIONS FOLLOWING THE DESTRUCTION OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC POWER PLANT.....	84
58.	ДЕНИСЮК А.Ю., БАРАН С.А., МОЗГОВИЙ В.В. ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ СКЛОБОЮ ДЛЯ ДРИНАЖНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	85
59.	КУЛИК Є.В., БЛИЗНЮК М.М. КОМПЕТЕНЦІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ УКРАЇНИ.....	86
60.	STETSIAK L., KHLIVYSHYN Y. INNOVATIVE METHODS OF WATER AND WASTEWATER TREATMENT IN THE FOOD INDUSTRY.....	87
61.	СЛОБОДЯНИК В.Г. ІНТЕГРАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ У ПОЛІГРАФІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДИ У ЛЬВОВІ.....	88
62.	ЛИННИК Д.О., КОЦЮБИНСЬКИЙ А.О., ГРИЦУЛЯК Г.М. ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	89
63.	БОНДАРЧУК О.Ю., КУРОЧЕНКО М.О., ШАХНОВСЬКИЙ А.М., МОКІЄНКО А.В., СПАСЬОНОВА Л.М. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ.....	90
64.	ВОЛК Л.Р., ДОВБЕНКО І.Е. ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ В ТРУБАХ.....	92
65.	КРУСІР Г., КУПРІЯШКІНА О. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ЗАСТОСУВАННЯ БЮЧАРУ РИСОВОГО ЛУШПИННЯ В ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВІСНИХ СТІЧНИХ ВОД.....	93
66.	ГРИЦУЛЯК Г.М., ГРИЦУЛЯК В.М. УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ.....	95
67.	ЗАБАРА І.І., ПЛЯЦУК Л.Д., БАТАЛЬЦЕВ Є.В. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ АКТИВНОГО МУЛУ МЕТАБОЛІТАМИ ЦИКЛУ КРЕБСА В АЕРОТЕНКАХ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД.....	96

68.	ПАНАС Н.С., ХІРІВСЬКИЙ П.Р. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ВОДОЙМ: ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	99
69.	ЮРЧЕНКО В.О., МЕЛЬНИКОВА О.Г. МЕЛЬНИК С.В. ДОСЛІДЖЕННЯ СНІГОВОГО ПОКРИВУ, ЯК ПОТЕНЦІЙНОГО ЗАБРУДНЮВАЧА ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	101
70.	ДАНЧЕНКО Ю.М., МАХЛАЙ Р.С. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНДАРТІВ ТА ВИМОГ УКРАЇНИ ТА КРАЇН НАТО ДО ПИТНОЇ ВОДИ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ.....	103
71.	КОВАЛІВ Ю.В., МАЗУРАК О.Т. СУЧАСНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	105
72.	FASULIAK V., VOVK L., HALYCH O., NOWAK P., BILKOVA E. HYDROLOGICAL MODELLING RESEARCH WORLDWIDE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCOPUS PUBLICATIONS.....	106
73.	GONDHALEKAR D. THE WATER-ENERGY-FOOD-ECOSYSTEMS (WEFE) NEXUS APPROACH AS AN INTEGRATED PLANNING FRAMEWORK TO OPERATIONALISE WATER AND RESOURCE RECLAMATION IN REGENERATIVE METROPOLITAN REGIONS.....	108
74.	МАЗУРАК О., КОВАЛІВ Ю., МАЗУРАК І. АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОВУГІЛЛЯ З ВІДХОДІВ ЗЕРНОВИХ АГРОКУЛЬТУР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	110
75.	МОКРИЙ В.І., ПАНЬКОВСЬКА Г.П., ЛИСИК П.М., СКРЕНТОВИЧ О.Р. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОНІКІВСЬКОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЗАКАЗНИКА В НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ».....	112
76.	НЕСТЕРОВА О.В., НАГОРНА О.К., НЕСТЕРОВ Я.С., НЕЧИТАЙЛО М.П. ОЦІНКА РИЗИКІВ РУЙНУВАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД У ЗВ'ЯЗКУ З ГЛОБАЛЬНИМИ КЛІМАТИЧНИМИ ЗМІНАМИ.....	113
77.	ІЛЯШЕВИЧ М.М., ШУПЛАТ Т.І., ПОПОВИЧ В.В. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ В РЕЗУЛЬТАТІ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ.....	115
78.	МАКОВСЬКИЙ Є.С., ФЕМ'ЯК В.Р., ВОВК Л.І., ЖУК В.М. ЗАБРУДНЕННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	117
79.	ДОЧИНЕЦЬ В.В., ШУПЛАТ Т.І., ПОПОВИЧ В.В. ШЛЯХИ ОЧИЩЕННЯ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	119
80.	РИЧАК Т.І., АРХИПОВА Л.М. ТЕХНОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ВПЛИВОМ ТЕС.....	121
81.	ĐUKIĆ A., GOVEDARICA O., IVETIĆ D., BABIĆ B. INFLUENCE OF INFILTRATION AND INFLOW (I/I) ON WASTEWATER TREATMENT EFFICACY.....	123
82.	КОВАЛЬЧУК В.А. ЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОДПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	124
83.	HURA V. ASSESSMENT OF UNCERTAINTY IN FORECASTING AIR POLLUTION CONCENTRATIONS USING MONTE CARLO MARKOV CHAIN METHODS.....	126
84.	КОРОЛЬ К.А., ПОПОВИЧ В.В., БОЙКО Т.В., ПОПОВИЧ Н.П. ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ.....	127
85.	СТРІКАЛЕНКО Т.В. ПРОБЛЕМИ «ВОДИ» У ЗАКЛАДАХ ГОСТИННОСТІ.....	129
86.	НИЖНИК Т.Ю., СТРІКАЛЕНКО Т.В. ДО ПРОБЛЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ СПЕКОТНОГО КЛІМАТУ.....	130
87.	ПРОСКУРНІН О.А., БЄЛОКОНЬ К.В., ДЕМ'ЯНОВА О.О. НОРМУВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ В ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ.....	132
88.	СЕРЕДА А.В., ВРОНСЬКА Н.Ю., СЛЮСАР В.Т. КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА СТАН І ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ.....	134

WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISPOSAL

89.	МАТВІЙВ П.В., ТИМЧУК І.С. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ.....	135
90.	КАРАЧУН М.С., ТИМЧУК І.С., СЕРЕДА А.С. РОЛЬ ДОЩОВОГО СТОКУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ.....	136
91.	НАРОЛЬСЬКИЙ Ю.В., СЛОБОДАНЮК І.Р., ТИМЧУК І.С. ЦИРКУЛЯРНИЙ ПІДХІД У СИСТЕМАХ ВОДОКОРИСТУВАННЯ.....	137
92.	РОМАНОВИЧ Б.М., ТИМЧУК І.С. БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕРОБКИ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД У ЦІННІ ВТОРИННІ ПРОДУКТИ.....	139
93.	MALOVANYU M., ZHUK V., MYSAK I., TYMCHUK I., BORDUN I., VRONSKA N. LONG-TERM TRENDS IN PRECIPITATION DEPTHS IN SELECTED CLIMATIC REGIONS OF UKRAINE.....	141
94.	САБАДАШ В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ЦЕОЛІТУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ВІД ІОНІВ Cu (II) ТА Cr (III).....	142
95.	САВКА В.В., ТУРЧИН Б.В., ОДНОРІГ З.С. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ УЗБЕРЕЖЖЯ ВІД ВОДОРОСТЕЙ SARGASSUM.....	143
96.	ВНУКОВА Н., КАМЕНЄВ А. ВОДОПОСТАЧАННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ (НА ПРИКЛАДІ М. ХАРКІВ).....	144

КАСІЯНЧУК Д.В. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ОЦІНКА ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ДЛЯ ПОТРЕБ ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРИКЛАДІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76018, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна; dmytro.kasiianchuk@nung.edu.ua

Abstract. This study assesses the water availability of the urbanized area of Ivano-Frankivsk using satellite-derived climatic data and geoinformation technologies to support sustainable planning and water resource management. Analysis of data from 2000 to 2024 revealed a significant decline in annual surface runoff – from over 350 million m³ to just 53 million m³ – while water consumption increased by over 30%, driven by population growth and rising demand. The growing mismatch between supply and demand highlights the urgent need for adaptive, data-driven water governance in the context of climate change and urban expansion.

Забезпечення водопостачання є одним із критично важливих завдань для сучасних міст, особливо в умовах змін клімату, зростання населення та нерівномірного просторового розподілу водних ресурсів. У випадку Івано-Франківської міської громади це питання стає ще більш актуальним, з огляду на обмежену локальну ресурсну базу та вплив сезонних змін. З початку повномасштабної війни в Україні міста західного регіону, зокрема Івано-Франківськ, стали центрами масового прийому внутрішньо переміщених осіб.

У рамках дослідження було використано супутникові кліматичні дані в середовищі Google Earth Engine (GEE), зокрема продукти CHIRPS для оцінки просторово-часового розподілу опадів, а також моделі MODIS та ERA5-Land для аналізу евапотранспірації та температурного режиму. Щомісячні та річні серії дозволили оцінити водний баланс (різницю між опадами (P) та потенційною евапотранспірацією (ET)), а також виявити роки з надлишком або дефіцитом води. Для просторової ідентифікації басейну водозбору Івано-Франківська було сформовано межі водозбірного басейну річки Бистриця-Надвірнянська, яка є основним джерелом водопостачання міста.

На карті (рис. 1) зображено межі басейну, гідрографічну мережу, напрямки поверхневого стоку, орографічні особливості та місце розташування водозабірної станції. Аналіз виконано з використанням цифрової моделі рельєфу SRTM та обробки гідрологічної структури в ГІС-середовищі.

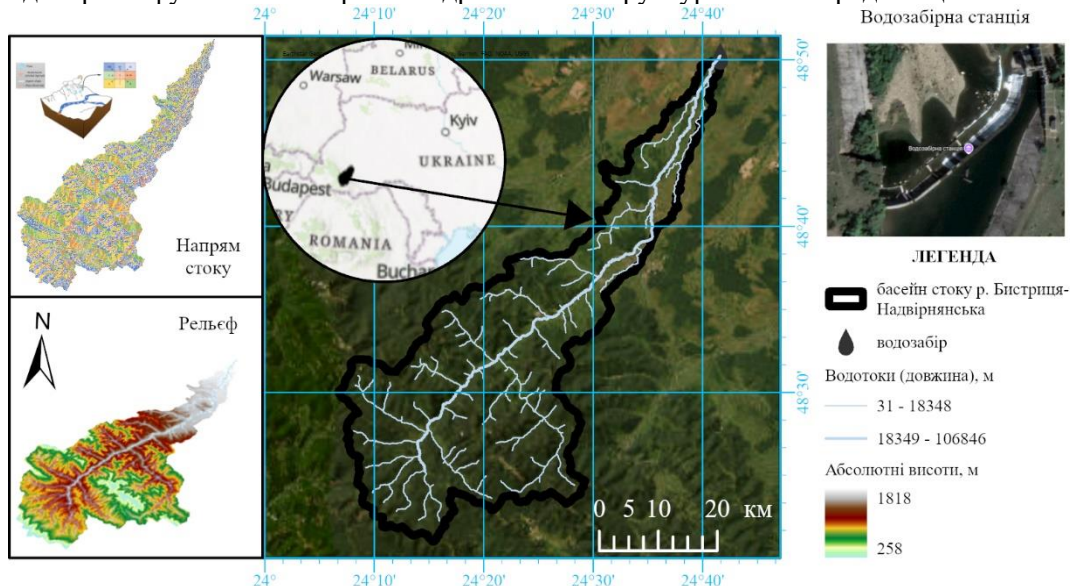


Рис. 1. Схема водозбірної території річки Бистриця-Надвірнянська з межами суббасейнів, напрямками стоку та рельєфом території в районі водозабору Івано-Франківська

Упродовж 2000–2024 років в Івано-Франківську спостерігається чітка динаміка змін водного балансу (рис. 2), що зумовлена як антропогенними факторами, так і кліматичними трансформаціями. Населення міста поступово зростало – з 232,9 тис. осіб на початку періоду до понад 302 тис. у 2023 році, що зумовило пропорційне зростання обсягів водоспоживання. За середньодобового споживання

на рівні 200 літрів на особу (включно з побутовими та виробничими потребами), загальний обсяг річного водозабору зріс із приблизно 17 млн м³ до понад 22 млн м³. Паралельно відбувалися суттєві кліматичні зміни. Середньорічна температура повітря підвищилася з 10,9 °C до 12,5 °C, що спричинило збільшення евапотранспірації – з 325 мм до понад 600 мм на рік. Незважаючи на коливання кількості опадів, зростання втрат вологи через випаровування спричинило поступове зменшення річного поверхневого стоку. Якщо на початку 2000-х обсяги річного стоку сягали 350–400 млн м³ на рік, то після 2020 року ці показники впали до критичних рівнів: лише 56 млн м³ у 2022 та 53 млн м³ у 2024 році.

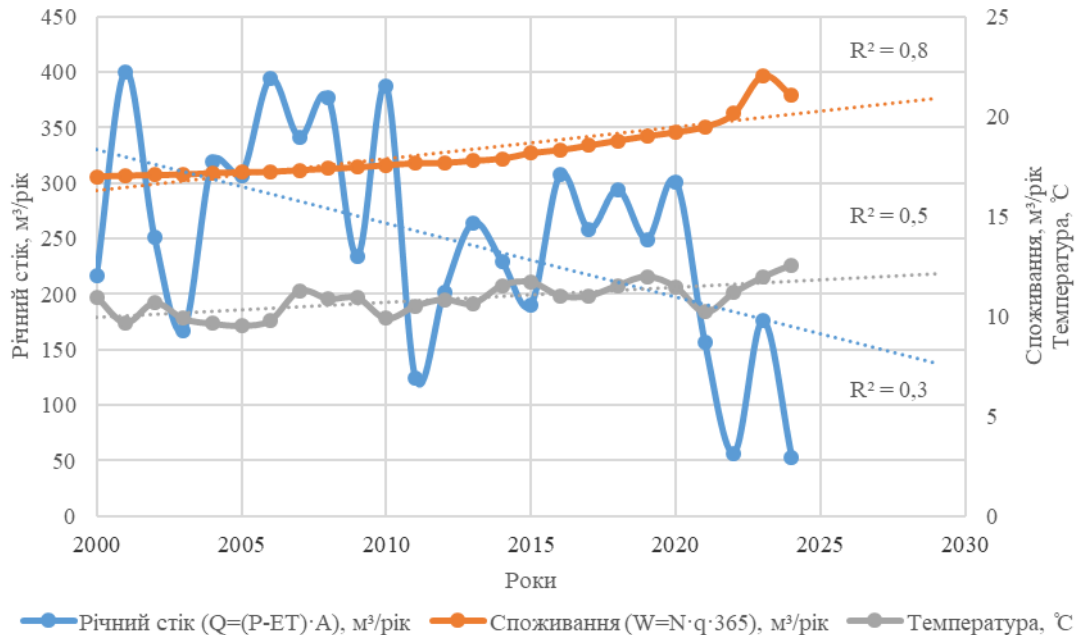


Рис. 2. Динаміка річного стоку, водоспоживання та середньорічної температури в Івано-Франківську у 2000–2024 рр.

На графіку (рис.2) відображено зміни трьох ключових показників, що визначають стан водних ресурсів у регіоні: річного стоку, загального водоспоживання та середньорічної температури повітря. Упродовж 2000-2024 років спостерігається чітке зменшення річного стоку ($R^2 = 0,3$), що свідчить про зниження природного водозабезпечення. Це, ймовірно, є наслідком як збільшення евапотранспірації, так і кліматичних змін, зокрема потепління. Водночас водоспоживання стабільно зростає ($R^2 = 0,8$), що пов'язано з приростом постійного населення та збільшенням побутових і виробничих потреб. Така динаміка створює дедалі більший тиск на місцеві водні ресурси. Крім того, середньорічна температура демонструє помітну тенденцію до зростання ($R^2 = 0,5$), що є додатковим чинником ризику з огляду на вплив температури на водний баланс території. Загалом графік відображає розбалансування між зменшенням водних надходжень та зростанням антропогенного навантаження, що вказує на потенційну загрозу водного дефіциту в регіоні. Це зумовлює стрімке зменшення співвідношення між доступними водними ресурсами і реальним споживанням. У той час як на початку досліджуваного періоду обсяг річного стоку перевищував потреби в десятки разів, то з 2020-х років водоспоживання стало перевищувати річний стік у декілька разів.

Такий дисбаланс створює реальну загрозу водного дефіциту, особливо в умовах кліматичного потепління, і свідчить про необхідність перегляду підходів до управління водними ресурсами, впровадження заходів з водозбереження, зменшення втрат у системах постачання та переорієнтації на раціональне використання води в усіх секторах. Ефективне планування та управління водними ресурсами потребує не лише гідрологічного моделювання, а й інтеграції супутникових даних, які дозволяють відстежувати динаміку ключових змінних: опадів, евапотранспірації, поверхневого стоку.

DOMINGUEZ L., KHOKHLOVA L. (USA, OLYMPIA)

THE ZUBRA RIVER WETLAND RESTORATION PROJECT IN LVIV, UKRAINE

EcoAssets Environmental Company

6525 Arnesen Lane SW, Olympia, WA 98512, USA; ld50_msn.com

Abstract. War recovery river and wetland ecosystems projects will be timely in Ukraine. The Zubra River is at a tipping point, with urgent restoration needed to prevent irreversible ecological loss. The Zubra River Wetland Restoration Project in Lviv (Ukraine) aims to transform a historically degraded landscape into a thriving urban natural area. The project will restore a Soviet-era lake, once polluted with waste and polluted runoff, by creating a wetland to naturally impound and treat water.

The Zubra River originates within Lviv and traverses urban, sub-urban, and rural areas. Historically, it was an integral part of the region's water system, supporting biodiversity and local livelihoods. However, urban expansion, industrial runoff, and inadequate water management have severely degraded its ecosystem. Currently, the river suffers from pollution, altered hydrology, and fragmented habitats. The valley-river landscape is prone to erosion processes and flooding. Moreover, some tributaries of the Zubra, like most small rivers in Lviv, have been confined to stormwater sewer collectors, with little to no oversight of their maintenance.

The river water is heavily polluted with nitrates, nitrites, ammonium nitrogen, heavy metals, surfactants. Average nitrites concentration has been observed at 3.57 mg/dm³, significantly higher than established international water quality standards. The high BOD₅ concentration can cause organic pollution and eutrophication. The water quality in the river continues to rapidly deteriorate and its hydroecological state is assessed as unsatisfactory (Ivanov et al., 2023). Taking into account the adaptation to hypoxia, only resilient invertebrate hydrobionts with low biomass dominate: *Polyarthra vulgaris*, *Daphnia pulex*, *Nematoda*, *Polychaeta*, etc. (Tsvilynyuk et al., 2017).

In suburban areas, the river retains some natural features, while in rural regions, is channelized in agricultural areas, creating various restoration challenges and opportunities. Despite these challenges, remnants of functional wetlands and riparian zones offer critical potential for restoration, enhancing biodiversity and ecological services.

Community meetings have revealed strong support for restoration initiatives, particularly those addressing climate adaptation, nature consternation, education and recreational opportunities.

The Zubra River Wetland Restoration Project envisions a multi-use and multi-functional green space where residents can connect with nature, foster urban wellness and appreciation for natural ecosystems. The effect will be far-reaching downstream to build on momentum of nascent projects: Peri-Urban Communities (Solonka and Davydiv Local Communities): a chain of suburban villages where water quality is being addressed from effects of growth and agriculture. The Project will restore a degraded landscape, reconnect the community with nature, and serve as a model for integrating environmental health with urban development. The project will improve urban livability by reducing flood risks, enhancing recreational spaces, and increasing community engagement in ecological preservation. Residents will benefit from cleaner water, greener spaces, and improved health outcomes. In peri-urban areas, the project will create accessible green corridors, improving the quality of life for rapidly growing suburban communities. In rural regions, it will support sustainable land use practices, protect agricultural livelihoods, and provide long-term solutions to erosion, sediment, and water management challenges. Overall, the project will unify urban, suburban, and rural communities through shared stewardship of the Zubra River, promoting resilience and sustainable development across the landscape.

The project duration is 6 years from assessment to construction on total 35 hectares (25 wetland/channel; 10 stream/riparian), providing Phase I Assessment/Feasibility; Phase 2; Design Engineering, Plan Integration, cost-share security; Phase 3 Construction. Project total cost: \$US 4.75 million.

The organization, which to lead and manage the project: EcoAssets Environmental is a renowned international environmental and restoration design, PAEW, Ecologists Without Borders, Municipal Water Company “Lviv Vodokanal”, Lviv Municipality, and Ukrainian ecologists familiar with the project. This collaboration ensures a comprehensive and impactful approach to the Zubra River Project.

КРИХОВЕЦЬ О.В.¹, РУБАЙ О.І.², РЕПЕТА В.Б.¹ (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ТЕХНОЛОГІЧНА НЕОБХІДНІСТЬ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

¹Національний університет «Львівська Політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; oleksandra.v.krykhovets@lpnu.ua

²Компанія «ЗІКО», 79009, просп.В. Чорновола, 45а, Львів, Україна

Abstract. Якість та хімічний склад води безпосередньо впливають на друкарський процес у офсетному способі друку. Водопровідна вода містить домішки, які можуть спричиняти різноманітні дефекти на друкарських відбитках через порушення технологічного балансу. Дослідження підтверджують доцільність багатоступеневої системи водопідготовки для офсетного цеху, яка включає механічну фільтрацію (титанові мембрани), пом'якшення та знесолення (колони комплексної дії) і введення інших допоміжних речовин.

Вода є важливим фактором у технології офсетного друку зі зволоженням. Вона використовується у зволожувальних системах друкарських машин, де забезпечує вибірковість взаємодії фарби з ділянками друкарської форми і баланс «фарба-зволожуючий розчин» для уникнення емульгування друкарської фарби, що гарантує високу чіткість, оптичну щільність і контрастність відбитка.

Звичайна водопровідна вода містить розчинені солі, іони металів, органічні домішки та мікроорганізми, які можуть негативно впливати на друк і спричиняти технічні збої. Відповідно, параметри підготовленої води безпосередньо впливають на стабільність друкарського процесу, ресурс обладнання та якість готової продукції. Тому для поліграфії використовують спеціально підготовлену воду, очищену за допомогою відповідних технологій та реагентів.

Вимоги до води у поліграфії зумовлені тим, що її хімічний склад визначає фізико-хімічні властивості зволожувального розчину. Основні нормативні вимоги до водопідготовки наступні:

- **Жорсткість** – 1,5-2,5 ммоль/л для запобігання утворенню сольових відкладень.
- **pH** – 4,8-5,5, що забезпечує стабільний баланс між водою та фарбою.
- **Електропровідність** – 300-500 мкСм/см з наступною корекцією розчину до 800-1500 мкСм/см при додаванні домішок (концентратів).
- **Вміст Феруму** – не більше 0,1 мг/л, аби уникнути корозії металевих елементів обладнання.
- **Мікробіологічна чистота** – повна відсутність мікроорганізмів для запобігання біопшкодженням.

Використання дистильованої води у друкарських процесах небажане, оскільки її надмірна чистота негативно впливає на поведінку фарби та стабільність друкарського процесу. У свою чергу, звичайна водопровідна вода без спеціальної підготовки не підходить для використання у друкарському виробництві. Відхилення від вище вказаних норм призводить до таких дефектів друкування як емульгування фарби і втрата різкості зображення, поява смуг на пробільних елементах і забруднення зволожувального апарату друкарської машини. Для приведення води до необхідних параметрів застосовують багатоступеневу систему обробки. Проведені нами дослідження дозволяють рекомендувати наступну технологічну схему.

Перший ступінь – очищення води від механічних домішок, піску, іржі та окалини. Це створює захист основного обладнання від пошкоджень. **В окремих випадках потрібна тонка механічна очистка води** для вилучення дрібнодисперсних зависей та колоїдних частинок – доцільне використання промивних фільтрів з титановими мембранами з порами 5-10 мкм.

Другий ступінь – комплексне очищення води від солей, зниження жорсткості води, вилучення органічних домішок, сполук Феруму, Мангану та йонів амонію із застосуванням універсальної установки очищення води.

Третій ступінь – корегування рівня pH. Подача розчину в оброблювану воду здійснюється пропорційно витраті.

Четвертий ступінь – знезараження води. Подача розчину гіпохлориту натрію в оброблювану воду здійснюється пропорційно витраті для окислення заліза, марганцю і знезараження води.

Після проходження всіх етапів очищення у воду додатково додають домішки, які містять буферні речовини та спиртовмісні компоненти (ізопропанол у кількості 5-10%).

НАГУРСЬКИЙ О.А., МАРФУТИН А.Б. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ РАДОНОВІСНОЮ БУДІВЕЛЬНОЮ
СИРОВИНОЮ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ**

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. С.Бандери, 12, Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua*

Abstract. Radon-222 from granite and industrial additives can contaminate water during extraction and construction material production. It accumulates in closed systems, posing health risks mainly through inhalation during water use, and is recognized as the second leading cause of lung cancer. Regulations in Ukraine and internationally set a limit of 100 Bq/L for drinking water. Prevention relies on aeration, activated carbon filtration, sealed systems, and radiological monitoring to keep risks under control.

Радон-222, як продукт розпаду урану-238, є типовим природним компонентом багатьох гірських порід і матеріалів, що використовуються у будівництві; найвищі концентрації радю (і відповідно потенційна еманція радону) зазвичай фіксуються в гранітах і деяких гіпсових або фосфатних породах. У виробництві цементу та бетонних виробів сам базовий портландцемент і кварцовий пісок зазвичай мають помірну активність, проте використання промислових домішок — летких зол, доменних шлаків, фосфогіпсу та інших відходів — може суттєво підвищувати вміст природних радіонуклідів у вихідній суміші і, як наслідок, збільшувати джерело радону при експлуатації та обробці матеріалів. На кар'єрах і складах щебеню, відвалах золи від теплоелектростанцій, у шлакових купках спостерігається постійна еманція радону в повітря і при контакті з водою — переходи радону в гідросферу. У технологічних процесах виділення радону відбувається за рахунок фізичних механізмів (рекойл-ефект при розпаді Ra-226, дифузія крізь пори й тріщини), а також механічного переносу на тверді частинки продуктів розпаду, які можуть адсорбуватися на колоїдних частках і транспортуватися в стічних і донних осадах.

Контакт радонівмісної сировини з технічними і підземними водами — основна причина попадання радону у виробничі водні потоки. На стадії видобутку і промивання порід вода, що накопичується в кар'єрах або свердловинах, може насичуватися радоном, який надалі потрапляє у проміжні технологічні резервуари, контури рециркуляції і стічні системи. На складах сипучих матеріалів і побічних відвалах дощові і ґрунтові води фільтруються крізь матеріал, розчиняючи радон і переносячи продукти його розпаду. Під час перемішування, гомогенізації і приготування розчинів радон легко переходить у водну фазу; у закритих замкнених системах без адекватної дегазації його концентрації можуть залишатися стабільно підвищеними. Важливо також враховувати, що газоподібний радон — короткоживучий (період напіврозпаду $\approx 3,8$ доби), але продукти його розпаду (Pb-214, Bi-214, Po-210 та ін.) можуть осідати та накопичуватися в твердих осадах, що створює довгострокові локальні «гарячі точки» у донних відкладеннях або дегазуючих фільтрах.

Екологічні та санітарно-гігієнічні наслідки пов'язані передусім із внутрішнім опроміненням людей. Хоча радон у відкритих річках і водоймах зазвичай швидко вивітрюється в атмосферу й суттєвого радіологічного навантаження не створює, у виробничих резервуарах, ґрунтових водах та системах водопостачання для виробництва і технічних потреб його рівні можуть бути помітно вищими. При використанні такої води у побуті або виробництві радон виділяється у повітря (під час змішування, нагрівання або струменевих процесів): інгаляційний шлях є основним для ризику розвитку раку легень, оскільки альфа-випромінювання продуктів розпаду радону ушкоджує тканини дихальних шляхів. Споживання води, що містить радон, також розглядається як потенційний шлях внутрішнього опромінення (шлунково-кишковий тракт), проте його внесок у загальний радіаційний ризик зазвичай менший порівняно з інгаляцією. Додаткові екологічні наслідки проявляються у можливому накопиченні довгоживучих нуклідів у донних осадах і біоті, що може створювати локальні екологічні ризики та ускладнювати поводження з відходами й осадами.

Регуляторно-технічні підходи покликані мінімізувати ці ризики. В українському нормативному комплексі будівельні матеріали класифікуються за ефективною питомою активністю природних нуклідів (A_{eff}), що визначає можливість використання матеріалу у спорудах з різним ступенем перебування людей; для питної води діє граничний орієнтир щодо вмісту радону-222 на рівні 100 Бк/л (узгоджено з міжнародними рекомендаціями), що служить технічним межовим значенням для оцінки безпечності джерел водозабезпечення. Практичною наслідком для виробництва є необхідність передпостачального радіологічного контролю сировини, оцінки питомої активності добавок і концентратів, а також регулярного моніторингу технічних вод і відпрацьованих стоків.

Заходи запобігання повинні поєднувати превентивні методи управління сировиною, інженерні рішення на стадіях виробництва та технології очистки води. На рівні сировини важливими є скринінг родовищ і постачальників, вибір матеріалів першого класу за радіологічною безпекою або розробка сумішей та рецептів, які розбавляють потенційно «гарячі» домішки до прийнятного рівня. Інженерні заходи включають організацію дегазації кар'єрних і виробничих вод (відстійники з дегазацією, відкриті басейни з аерацією, каскадні переливи), герметизацію ємностей, витяжну і загальну вентиляцію в місцях емісії, застосування замкнутих контурів рециркуляції води з періодичною очисткою та дегазацією, а також контроль параметрів процесів (температура, турбулентність), що впливають на перехід газу у фазу. Для очистки води від радону у промислових і питних системах ефективними є методи аерації (кольцева або колонна аерація; дифузна аерація; паковані башти), мембранна дегазація і фільтрація через гранульоване активоване вугілля (GAC). Кожна технологія має свої переваги і обмеження: аерація забезпечує швидке видалення радону шляхом передавання у повітря і підходить для значних об'ємів, але потребує подальшого поводження з радоновмісними газами; GAC ефективний для низьких концентрацій, але з часом накопичує радіоактивні продукти розпаду і сам перетворюється на радіоактивні відходи, що вимагають контролю і безпечної утилізації. Мембранні технології дають компактне рішення для дегазації, але мають вищі капітальні витрати.

Організаційні та санітарні заходи мають включати розроблені протоколи моніторингу: початкові базові обстеження по всьому технологічному ланцюгу (кар'єр, склад, виробництво, відвідні стоки), періодичні вимірювання у точках критичного контролю (щоденні/тижневі контролю для технологічних параметрів, місячні або кварталні — для радіологічних проб залежно від ризику), екстрені заміри після технологічних змін або у випадку збоїв. Для якісної оцінки радону у воді використовуються різні методи аналізу: газова сцинтиляція, метод Люка (Lucas cell), рідкосцинтиляційна вимірювальна техніка для водних зразків, гамма-спектрометрія та альфа-спектрометрія для продуктів розпаду і твердих осадів. Під час відбору проб слід дотримуватися чітких методик (температурний режим, герметична тара, час між відбором і аналізом), оскільки радон легко дегазується і його концентрація змінюється з часом.

Практичні рекомендації для промислових операторів включають: впровадження політики «чистої сировини» (скринінг і сертифікація постачальників), проєктування технологій з дегазацією на ранніх стадіях, встановлення протоколів поводження з GAC та іншими радіоактивними фракціями, організацію систем колективного захисту і локальної вентиляції на робочих місцях, регулярну дозиметрію працівників, підготовку інструкцій з аварійних ситуацій і інформування місцевих органів влади. Значну увагу слід приділяти утилізації та безпечному зберіганню осадів й фільтратів з підвищеною питомою активністю; у багатьох випадках такі матеріали слід вважати за радіоактивні відходи і поводитися з ними згідно з вимогами радіаційної безпеки.

Науково-практичні розриви та напрями подальших досліджень включають: детальну картографію радоновмісності родовищ будівельної сировини в межах національних територій; кількісну оцінку внеску різних технологічних операцій у сумарне потрапляння радону у відходи і стоки; довготривалі дослідження накопичення продуктів розпаду у донних осадах та мобільності цих нуклідів у різних геохімічних умовах; оцінку економічної ефективності різних технологій дегазації і поводження з радіоактивними фракціями; а також розробку оптимальних рецептур цементних сумішей з мінімальним радіаційним впливом без втрати технічних властивостей. Важливо також проводити соціально-економічні дослідження щодо ризик-комунікації з місцевими громадами та формування політик відповідальності виробників.

Таким чином, питання потрапляння радону з будівельної сировини у виробничі води є багатовимірною проблемою, що поєднує геологічні, технологічні, екологічні та нормативні аспекти. Хоча радон у відкритих водних системах швидко дегазується, у замкнених промислових контурах і джерелах технічної води його накопичення створює реальні ризики для працівників і потенційно для населення у разі використання цих джерел для пиття або побутових потреб. Комплексний підхід впровадження методів очистки (аерація, мембранна дегазація, GAC), організації моніторингу і навчання персоналу — дає змогу значно знизити ці ризики і забезпечити відповідність сучасним стандартам радіаційної безпеки. Це робить проблему керованою за умови свідомої політики виробника, системного контролю та інвестицій у відповідні інженерні рішення.

ЗАВИТІЙ І.Є., МАЛЬОВАНІЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

МОНІТОРИНГ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ВІЙКОВИХ ДІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна;

ivan.zavytii.meoes.2024@lpnu.ua

Abstract. Armed conflicts pose severe threats to water resources through the destruction of hydraulic infrastructure, discharge of pollutants, and disruption of natural hydrological regimes. Monitoring of water bodies under wartime conditions is therefore a critical component of environmental security, enabling the detection of contamination sources, assessment of water quality dynamics, and evaluation of potential risks to human health and ecosystems. In the Ukrainian context, cases such as the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant and damage to industrial facilities highlight the urgent need for integrated and flexible monitoring systems that combine laboratory analysis, remote sensing, GIS technologies, and bioindication. Effective water monitoring during military actions should be regarded as a key element of national resilience and a prerequisite for post-war environmental recovery.

Військові дії формують складний комплекс екологічних загроз, серед яких особливе місце посідає деградація водних ресурсів. Руйнування гідротехнічних споруд, систем водопостачання та каналізації, потрапляння у довкілля вибухових речовин, паливно-мастильних матеріалів і важких металів спричиняють істотні зміни у гідрологічному та гідрохімічному режимах водойм. В умовах збройного конфлікту особливо зростає ризик вторинного забруднення підземних вод, що має довготривалі та кумулятивні наслідки для здоров'я населення і функціонування екосистем.

Моніторинг водних об'єктів у таких умовах набуває стратегічного значення, адже він забезпечує своєчасне виявлення джерел і масштабів забруднення, дозволяє здійснювати оцінку динаміки зміни якості води, визначати її придатність для питного та господарського використання, а також формувати науково обґрунтовані рекомендації щодо мінімізації екологічних ризиків. Методологічна основа такого моніторингу включає як класичні лабораторні аналізи проб поверхневих та підземних вод, так і сучасні технології дистанційного зондування Землі, геоінформаційного моделювання та мобільні системи оперативного контролю. Важливим інструментом виступає також біоіндикація, яка дозволяє інтегрально оцінити вплив забруднювальних агентів на водні екосистеми.

Сучасний український контекст підтверджує критичну необхідність системного моніторингу: руйнування Каховської ГЕС спричинило масштабні гідрологічні зміни у басейні Дніпра, що призвели до втрати біорізноманіття та трансформації водно-болотних екосистем, тоді як пошкодження промислових об'єктів на сході країни створює реальну загрозу масового витоку токсичних відходів у водні системи. Ці процеси унеможливають підтримання безперервного контролю за станом водних ресурсів традиційними методами і водночас зумовлюють потребу у впровадженні комплексних та гнучких систем моніторингу, здатних функціонувати в умовах високої небезпеки та обмеженої інфраструктури.

НАГУРСЬКИЙ Н.О., БОРДУН І.М., МАЛЬОВАНІЙ М.С.,
БОРИСЮК А.К. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКОМПОЗИТІВ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$, СИНТЕЗОВАНИХ ІЗ СОЛОМИ ПШЕНИЦІ

*Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; coffice@lpnu.ua*

Abstract. The work investigates the adsorption properties of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ nanocomposites synthesized from wheat straw. The synthesis was carried out using a one-step and a two-step method. The adsorption isotherms of Methylene Blue and Congo Red dyes were studied. It was shown that composites synthesized in two steps exhibit better adsorption properties compared to those obtained in one step. The adsorption isotherms were modelled using the Langmuir, Freundlich, and Dubinin–Radushkevich models. Based on the Dubinin–Radushkevich model, the adsorption energy values were estimated, and the nature of the interaction forces between the adsorbate and the active adsorption centres in the synthesised composites was analysed.

Інтенсивний розвиток текстильної, паперової та харчової промисловості призводить до значного скидання стічних вод із барвниками у природні водойми. Барвники зазвичай мають складну ароматичну структуру, що робить їх стійкими до біорозкладання і дозволяє їм тривалий час зберігатися в навколишньому середовищі. Їхня присутність у воді не лише погіршує її естетичні характеристики, але й має серйозні екологічні наслідки. Адсорбція високопористими вуглецевими матеріалами є одним із найбільш перспективних методів видалення таких забруднювачів з водних розчинів. Проте, традиційні порошкоподібні адсорбенти мають суттєвий недолік: значну складність їхнього відділення від очищуваної рідини. Цю проблему можна розв'язати за допомогою нового покоління матеріалів — магнітних вуглецевих адсорбентів.

Наноккомпозити у одноетапному синтезі отримували шляхом просочення соломи пшениці водним розчином хлоридів заліза та цинку з подальшим піролізом в інертній атмосфері (аргон) при швидкості нагрівання $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$ до температури $800\text{ }^\circ\text{C}$ та витримці при кінцевій температурі $\sim 90\text{ хв}$. Масове співвідношення компонентів у суміші для синтезу: сировина : FeCl_3 : ZnCl_2 = 1:0,5:0,5. Ці зразки позначали НК1. У двоетапному методі синтезу на першому етапі було здійснено піроліз соломи пшениці при температурі $\sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ впродовж 90 хв. Після цього карбонізат модифікували шляхом просочення водним розчином хлоридів заліза та цинку, висушували і далі піддавали піролізу в інертній атмосфері при швидкості нагрівання $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$ до температури $800\text{ }^\circ\text{C}$ та витримці при кінцевій температурі $\sim 90\text{ хв}$. Позначення цих зразків НК2. Попередніми нашими дослідженнями встановлено, що обидва методи синтезу призводять до утворення у структурі вуглецевого матеріалу магніточутливої фази – частинок магнетиту Fe_3O_4 розміром $\sim 25\text{ нм}$.

Дослідження адсорбції барвників метиленового синього (МС) і конго червоного (КЧ) із водних розчинів проведено за допомогою спектрофотометричних методик з використанням однопроменевого спектрофотометра СФ-46. Для вимірювань використано кювети з довжиною оптичного ходу 10 мм. Точку нульового заряду pH_{pzc} визначали за допомогою методу «дрейфу рН». Електролітом виступав 0,05 М розчин NaCl , до нього додавали 0,1 М HCl і 0,1 М NaOH , щоб отримати вихідні розчини з значенням рН від 2 до 12.

Дослідження ізотерм адсорбції МС і КЧ показало, що наноккомпозити НК2 володіють суттєво кращими адсорбційними властивостями у порівнянні із НК1. Аналізуючи форму ізотерм можна сказати, що усі досліджені ізотерми належать до типу L, що дозволило змодельовати їх з високою точністю за допомогою класичних моделей Ленгмюра і Фрейндліха. Параметр рівноваги R_L для обох синтезованих зразків був суттєво меншим за 1 і більшим за 0, що вказує на сприятливу адсорбцію досліджуваних барвників. Проте величина адсорбції основного барвника МС є значно більшою за величину адсорбції кислотного барвника КЧ. Це зумовлено як впливом на адсорбцію функціональних поверхневих груп (pH_{pzc} для НК1 становить 3,76, а для НК2 – 2,69), так і різницею у пористій структурі синтезованих композитів. Крім того, молекули МС є майже вдвічі коротшими за молекули КЧ. На основі моделі Дубініна-Радускевича оцінено значення середньої вільної енергії адсорбції, яка дозволяє проаналізувати природу сил взаємодії між адсорбатом і активними центрами адсорбента. Встановлено, що для молекул МС взаємодія з поверхнею адсорбенту може бути описана як фізична адсорбція для НК1 та іонний обмін для НК2. Для молекул КЧ характерна переважно хімічна адсорбція, оскільки енергія адсорбції є більшою за 16 кДж/моль . Це означає, що адсорбовані барвники на поверхні НК2 не будуть вимиватися назад у розчин. Отже, двоетапна методика синтезу композитів дозволяє отримувати високоєфективні адсорбенти із органічної сировини.

БЕЗОВСЬКА М.С., РОЗГОН О.В., ГОРЬ М.К. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ

*Український державний університет науки і технологій
49010, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна; office@ust.edu.ua*

Abstract. A power plant is a power facility that converts natural energy into electricity. The type of power plant depends on the type of natural energy used. The most common are thermal power plants. During the active operation of thermal power plants, a significant amount of wastewater is formed. These waters usually contain oil products, chlorides, sulfates. Assessment of the scale of the impact of thermal power plants on water bodies is one of the main issues in the forecast of the development of the electric power industry.

Енергетика є важливою складовою частиною процесу перетворення навколишнього природного середовища людиною. Виробництво транспортування і використання енергії наразі мають глобальний характер.

Водночас з цим можемо відзначити, що близько 80 % усіх видів забруднення біосфери обумовлено саме діяльністю підприємств енергетичної промисловості.

Електрична станція – це енергетична установка, що дозволяє перетворювати природну енергію в електричну. Тип електричної станції залежить від виду природної енергії, яка застосовується. Найбільш поширеними є теплові електричні станції (ТЕС), де використовується теплова енергія, що виділяється при спалюванні органічного палива – нафти, вугілля, газу і т.п. За приблизними оцінками на ТЕС виробляється приблизно 76 % електроенергії, що загалом створюється на нашій планеті.

Вплив теплових електростанцій на водні об'єкти здійснюється у двох напрямках: використання водних ресурсів немає і прямий вплив ТЕС на якісний стан водних об'єктів шляхом скидання їх стічних вод з підвищеними концентраціями забруднюючих речовин. Основними забруднювачами найчастіше є нафтопродукти, хлориди, сульфати. Оцінка масштабів впливу ТЕС на водні об'єкти є одним з основних питань прогнозу розвитку електроенергетики. Далі детальніше розглянемо стоки таких підприємств.

Під час активної експлуатації ТЕС можуть утворюватися наступні види стічних вод:

- стічні води із систем охолодження, що розглядаються як умовно чисті води, джерело теплового забруднення навколишнього середовища; у випадку використання прямоточної системи охолодження скидання тепла становить близько 50 % від тепла, яке виділяється від спалювання палива; наприклад, на конденсацію 1 тонни відпрацьованої в турбіні пари доводиться витратити залежно від пори року 50 – 60 т води, на ТЕС потужністю 4000 МВт виробляється близько 13000 т/рік пари, проте значну частину цієї пари спрямовують у регенеративні підігрівачі; для конденсації цієї кількості водяної пари в конденсатори необхідно подавати до 500000 тонн охолоджувальної води за годину; температура цієї води підвищується лише на 8 – 10°C, але скидати такі води у річки й озера забороняється, адже це може призводити до розростання синьо-зелених водоростей, значного збіднення води розчиненим киснем, загибелі мешканців води, які не переносять високих температур тощо;

- стічні води прямоточної системи технічного водопостачання; після використання в системі охолодження ці води надходять у водойму без очищення, внаслідок контакту з теплообмінним апаратом, протікання охолоджуючої середовища є джерелом таких забруднень, як мазут і нафтопродукти;

- стічні води оборотної системи;

- стічні води ВПУ; об'єм стоків досягає 30 % виробництва знесолюючої установки;

- продувальні води системи охолодження, які включають хлориди, сульфати, суміші солей вихідної води з концентрацією вище вихідної в 5 – 10 разів;

- води, головним джерелом забруднення яких є оливоохолоджувачі турбін;

- стічні води гідрозолоуловлювання (ПЗУ) і продувні води ПЗУ;

- непроектного скиди, пов'язані з пошкодженням обладнання;

- періодичні стоки, зокрема промивні води РВП, промивні води конвективних поверхонь нагріву, стічні води хімпромивок.

НАГУРСЬКИЙ О.А., ЧОРНЕНЬКИЙ В.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В ТЕХНОЛОГІЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТІВ

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. С.Бандери, 12, Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua*

Abstract The article discusses the potential use of coffee industry waste (coffee grounds, husks, pulp) as organic modifiers for the reclamation of podzolic soils. Based on a synthesis of current publications and practical cases, the chemical composition of waste, its impact on the physicochemical properties of soil, risks, and technological approaches to safe use are analyzed. It has been shown that, when used in moderation and in a controlled manner, waste can increase the organic matter content and improve the structure and water-physical properties of podzolic soils; however, excessive doses can cause phytotoxic effects and acidification.

Проблеми деградації ґрунтів і одночасне збільшення обсягів органічних відходів харчової промисловості створюють передумови для впровадження циркулярних технологій, які дозволяють перетворювати відходи на ресурс для відновлення родючості. Підзолисті ґрунти, типові для лісостепових та лісових зон, характеризуються низьким вмістом гумусу, кислотою реакції та поганою структурою, що обумовлює потребу у зовнішніх органічних вхідних матеріалах. Водночас кавова промисловість продукує значні обсяги побічних продуктів, які містять органічну масу та біоактивні сполуки і можуть служити ґрунтотехнічними модифікаторами.

Огляд базується на аналізі наукових публікацій та практичних проєктів (переважно 2013–2025 рр.), включаючи дослідження хімічного складу кавових відходів, польові та лабораторні роботи з внесенням гущі й лушпиння в ґрунтові суміші, а також приклади компостування й використання пульпи в лісовідновленні.

Кавові відходи є багатими на органічний вуглець (приклади: >50–58% С у сухій масі), містять целюлозу, геміцелюлозу, лігнін, помірні кількості білків і жирів та невеликі концентрації доступних макроелементів ($N \approx 1\text{--}2\%$, Р і К — низькі). Додатково присутні поліфеноли, антиоксиданти та кофеїн, які мають біологічну активність. Через високий вміст клітковини матеріали добре впливають на структуру ґрунту, але мають обмеження щодо забезпечення доступного азоту.

Компактні висновки з огляду: помірні внесення компостованої гущі або сумішей, що включають кавові відходи, сприяють зниженню об'ємної маси ґрунту, підвищенню пористості, водоутримання та інфільтрації; стимулюють активність ґрунтової мікробіоти та утворення агрегатів. Це покращує умови для росту рослин, особливо у перші роки після внесення.

Сира гуща може спричиняти тимчасову іммобілізацію азоту, фітотоксичність (через кофеїн і феноли) та поступове зниження рН при багаторазовому внесенні — польові дослідження фіксували позитивні ефекти на 1–2-й рік і негативні тенденції на 3–4-й. Вологі матеріали ризикують забрудненням цвільлю, тому важливо застосовувати передобробку.

Найбільш безпечні й ефективні практики: компостування кавової гущі в сумішах з азотовмісними матеріалами (гній, рослинні рештки), вермікомпостування для прискорення стабілізації органіки та карбонізація (виробництво біочару) для отримання стабільного вуглецевого продукту. Комбінування з іншими органічними матеріалами мінімізує ризики N-дефіциту та фітотоксичності.

Практичні кейси з Бразилії, Коста-Рики та локальні польові дослідження демонструють успішне застосування компостованої пульпи або лушпиння для підвищення вмісту органічної речовини, пригнічення бур'янів (як мульча) та покращення стартових умов для відновлення деревної рослинності.

Кавові відходи мають істотний потенціал як доступний джерело органічної речовини для рекультивації підзолистих ґрунтів. За умов помірного дозування та попередньої обробки (компостування, вермікомпостування, карбонізація) вони покращують структуру, водний режим і сприяють підвищенню родючості. Водночас необхідна система контролю параметрів ґрунту (рН, доступність N) і поєднання з додатковими джерелами азоту, щоб уникнути фітотоксичних і кислих ефектів. Подальші дослідження мають зосередитись на довготривалих польових експериментах, оптимізації технологічних режимів переробки відходів та оцінці економічної доцільності впровадження таких практик на регіональному рівні.

НАГУРСЬКИЙ О.А., БРАНОВСЬКИЙ М.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

МОНІТОРИНГ НІТРАТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДЖЕРЕЛ ПИТНОЇ ВОДИ У УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. С.Бандери, 12, Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua*

Abstract. Intensive agriculture raises nitrate (NO_3^-) levels in rural groundwater, often exceeding the WHO guideline of $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in private wells while municipal supplies typically comply. Standardized monitoring (spectrophotometry/ion chromatography) pinpoints agricultural “hot spots”; mitigation requires strengthened rural monitoring, targeted nutrient-management (vulnerable-zone designation, fertilizer limits, buffer strips) and local nitrate-removal solutions for affected supplies. Integrated, long-term monitoring and cross-sector coordination are essential to protect public health.

Нітратне забруднення джерел питної води залишається однією з ключових екологічних і гігієнічних проблем у регіонах із інтенсивним землекористуванням. Основними причинами накопичення нітратів у підземних і поверхневих водах є надмірне внесення мінеральних добрив, неправильне утилізування та внесення гною, недостатній захист буферних зон і низька ефективність очисних споруд. Через ризик метгемоглобінемії у немовлят та потенційні довготривалі канцерогенні ефекти (через утворення N-нітрозосполук) ВООЗ рекомендує граничну концентрацію нітратів 50 мг/л (як NO_3^-), і ця норма фактично використовується в українському регулюванні.

Аналіз наявних даних (офіційні моніторингові звіти, публікації та громадські дослідження) дозволяє виділити такі характерні тенденції. У побутових криницях і малих автономних джерелах питної води в багатьох регіонах (Полісся — Рівненська обл., Поділля — Вінницька обл., Лісостеп — Полтавська і Черкаська обл.) зафіксовано значні випадки перевищення нормативу 50 мг/л : у Рівненській області 2023 р. близько 34% проб не відповідали санітарним вимогам, у Вінницькій області місцями спостерігалися перевищення у 3–4 рази, у черкаських колодязях окремі значення досягали сотень мг/л . Натомість централізовані мережі міст демонструють значно нижчі концентрації нітратів, що свідчить про ефективність сучасних очисних споруд і розведення в джерелах.

Методологічно збір і аналіз даних базувався на джерелах офіційного моніторингу та польових дослідженнях, відбір проб проводився згідно з національними та ISO-стандартами, визначення нітратів - спектрофотометричними методами або іонною хроматографією з відповідною системою контролю якості. Систематизація результатів по регіонах дозволила показати, що головними «гарячими точками» є сільські території з інтенсивним удобренням і обмеженою інфраструктурою очищення стоків.

Обговорення вказує на кілька важливих висновків для політики і практики: проблема має локальний характер: централізоване водопостачання в містах зазвичай відповідає нормативам, тоді як автономні криниці — основне джерело ризику для сільського населення; найефективніші заходи — попереджувальні: регулювання норм внесення добрив, сівозміни, створення буферних зон і локальних заходів збереження ґрунтів та вод; у випадках виявлених перевищень необхідно застосовувати технічні рішення для знезараження і видалення нітратів, особливо в об'єктах, що постачають воду для дитячих закладів та громадських пунктів.

На підставі аналізу запропоновано наступні пріоритетні заходи: посилити систему моніторингу якості підземних вод у сільській місцевості — регулярні вибірки за уніфікованими протоколами і відкритий доступ до даних; впроваджувати елементи «Нітратної директиви»; забезпечити технічну підтримку місцевих громад щодо фільтрації та знезараження питної води; розвивати просвітницькі програми для фермерів із впровадження точного удобрення та комплексних агротехнічних заходів, які зменшують стік азоту в водні режими; посилити координацію між органами влади, науковими установами та громадами для оперативного реагування на виявлені перевищення.

Інтенсивне землекористування в окремих українських регіонах уже призвело до системного перевищення гігієнічних нормативів нітратів у автономних джерелах питної води, що створює реальну загрозу здоров'ю населення. Комплексне вирішення вимагає поєднання посиленого моніторингу, аграрних заходів попередження, технічних рішень для очищення води та інформаційної роботи з населенням. Далі доцільно проводити цілеспрямовані довгострокові моніторингові програми в «гарячих точках», оцінювати ефективність впроваджених агротехнічних обмежень і масштабувати технічні рішення з урахуванням економічної доцільності.

КОЧУБЕЙ В.В.¹, ЯРЕМЧУК Я.В.², ЯГОЛЬНИК С.Г.¹,
МАЛЬОВАНІЙ М.С.¹, (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВПЛИВ pH СЕРЕДОВИЩА НА СОРБЦІЙНУ ЗДАТНІСТЬ ЗАКАРПАТСЬКОГО БЕНТОНІТУ ІЛЬНИЦЬКОГО РОДОВИЩА

¹Національний університет Львівська політехніка

79013, вул. С.Бандери, 12, Львів, Україна; viktorii.v.kochubei@lpnu.ua

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України

79000, вул. Наукова, 3А, Львів, Україна

Abstract. Comprehensive thermal, X-ray diffraction, and energy-dispersive spectral analyses showed that the enriched bentonite consists of Ca- and Mg-montmorillonite. Modeling the experimental sorption isotherm data using the Lenmura equation revealed the effect of medium pH on the sorption properties of bentonite. The spent sorbent is recommended for use in sorption technologies aimed at landfill remediation and site restoration.

В роботі досліджували вплив pH середовища на катіонообмінні та сорбційні характеристики бентонітової глини Ільницького родовища Закарпатської області, ТОВ “Лігніт+”. Досліджувану породу збагачували монтморилонітом (ММТ) методом седиментації грубодисперсної фази. За даними Х-променевих дифрактометричних досліджень (дифрактометр АДП-2.0, FeK α , Mn-фільтр; I-12 мА, U-30 кВ) основним мінералом збагаченого бентоніту (ЗБ) є Ca, Mg–монтморилоніт, який діагностовано за інтенсивним базальним рефлексом $d_{001} = 1.54$ нм в діапазоні малих кутів ($2\theta = 3-12^\circ$).

За результатами комплексного термічного аналізу (дериватограф Q-1500 системи “Паулік - Паулік–Ердей”) поява негативного структурного заряду зумовлена нестехіометричними ізоморфними заміщеннями в октаедричних позиціях ММТ катіонів Al³⁺ катіонами Fe²⁺, Mg²⁺. Характер заміщень в структурі ММТ підтверджувала поетапна температурна дегідроксилація мінералу.

Для дослідження катіонообмінних властивостей ЗБ в роботі використовували барвник метиленовий блакитний C₁₆H₁₈ClN₃S·3H₂O (МБ). Сорбцію барвника проводили впродовж двох діб за температури 25 °С та pH 7.5, pH 9.0, pH 11.0. Рівноважну концентрацію барвника в розчині знаходили фотометричним методом (спектрофотометр Xion 500, DR Langer).

Катіонообмінний механізм сорбції барвника підтверджували даними Х-променевого дифрактометричного та енергодисперсійного спектрального (INCA Energy 350) аналізів. Зменшення в катіонообмінному комплексі ММТ вмісту катіонів кальцію і магнію супроводжувалось поступовим зростанням вмісту катіонів барвника МБ. Витіснення неорганічних обмінних катіонів органічними супроводжувалось зміною міжплощинної віддалі ММТ та зміщенням на дифрактометричній кривій базального рефлексу 001. За pH 9.0 та початкової концентрації МБ в розчині 0.45 mg/ml основному базальному рефлексу відповідала міжплощинна віддаль 1,57 нм, що свідчило про початок формуванню в структурі ММТ пакетів, в яких повністю пройшов катіонний обмін.

Експериментальні дані ізотерм сорбції моделювали рівнянням Ленгмюра. Шляхом лінеаризації рівняння Ленгмюра знаходили сорбційні характеристики ЗБ. за pH 4.5 сорбційна ємність ЗБ відносно барвника МБ становила 218.3 mg/g, за pH 7.5 – 234.2 mg/g, за pH 9.0 – 242.7 mg/g. Максимальний сорбційний ємності ЗБ за pH 11.0 відповідало значення 257.7 mg/g.

Покращення сорбційних характеристик та зростання катіонообмінної здатності ММТ із зростанням pH середовища пояснювали появою додаткових протоногенних центрів, розміщених на бічних гранях кристалітів. Зростання pH до 11,0 сприяло максимальному залученню до іонообмінних процесів угруповань $\equiv\text{Si}-\text{OH}=\text{Al}-\text{OH}$, $-\text{Fe}-\text{OH}$ та $-\text{Mg}-\text{OH}$.

Сорбція барвника завершувалась формуванням органо-мінерального комплексу МБ-ММТ, про що свідчило значне зменшення вільної енергії сорбції. Відпрацьований сорбент, який вигідно поєднує характеристики твердого тіла та хімічно зв'язаних органічних фрагментів, відзначається розширеним спектром властивостей і може знайти широке застосування в сорбційних технологіях в процесах водоочищення, рекультивації звалищ та відновленні території.

СЕМЕНЧУК О.Р., НАГУРСЬКИЙ О.А. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТОРГОВО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ НА ЯКІСТЬ ПІДЗЕМНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

*Національний університет «Львівська політехніка» ,
79013, вул. С.Бандери, 12, Львів, Україна; oleg.a.nahursky@lpnu.ua*

Abstract. This paper presents a concise review of the impact of trade and logistics centers (TLCs) on the quality of groundwater and surface water, focusing on the Ukrainian context and taking into account practices from the EU and the USA. Based on an analysis of guidelines, regulations, review studies, and documented incidents, the main pollution sources, pollutant migration pathways, potential ecological consequences, monitoring standards, and effective prevention measures are synthesized. PFAS and petroleum products are identified as priority risk groups. Recommendations are given for organizational and technical measures, monitoring, and further research.

Торгово-логістичні центри (ТЛЦ) характеризуються великими площами непроникних покриттів, інтенсивним рухом транспорту, зберіганням пального та мастил, мийками й технічним обслуговуванням — фактори, які створюють потенційні джерела забруднення поверхневих і підземних вод. Попри те, що українські емпіричні дослідження, присвячені саме ТЛЦ, поки що обмежені, доступні нормативні документи, ОВД та міжнародний досвід дозволяють виокремити ключові ризики та практики управління ними. Метою цієї праці є систематизація знань і формулювання практичних рекомендацій для зниження ризику забруднення вод при проектуванні та експлуатації ТЛЦ в Україні.

Основними джерелами на територіях ТЛЦ є паркувальні майданчики, зони навантаження/розвантаження, місця техобслуговування й мийки, резервуари пального та місця тимчасового зберігання відходів; типовий набір забруднювачів включає TSS, нафтопродукти (TPH), олії/жири, важкі метали (Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd), поживні речовини (N, P), хлориди/солі, ПАУ, феноли, розчинники та PFAS. Шляхи потрапляння: поверхневий стік, інфільтрація через понижені чи дефектні лінери, аварійні розливи та дифузні викиди з ливневої мережі. Ефекти: забруднення донних біоценозів, біоаккумуляція, евтрофікація, токсичні впливи на водні організми, довготривала персистентність PFAS у водних масивах і питній воді. Моніторинг: рекомендовано поєднання оперативних індикаторів (рН, ЕС, турбідність/TSS, індикатори нафтопродуктів, E. coli) з регулярними лабораторними аналізами (BOD/COD, TPH, ПАУ, метали, форми азоту, Cl⁻) і цільовими дослідженнями PFAS за наявності підстав; мережа проб має включати upgradient і downgradient свердловини та up/downstream точки; частота — щоквартально в базовому режимі, оперативно після подій. Заходи контролю: технічні (сепаратори нафти/жиру, пісколовки, retention ponds, constructed wetlands, біофільтри, інфільтраційні комірки з попередньою очисткою), організаційні (SWPPP, інвентаризація небезпечних матеріалів, аварійні плани, навчання) та регуляторні (ліміти скидів, інтегровані дозволи).

Аналіз показує, що головні загрози від ТЛЦ пов'язані з нафтопродуктами та персистентними сполуками (PFAS), що вимагає пріоритетного включення цих груп у моніторингові програми та планування інженерних рішень. Порівняння з практиками ЄС і США демонструє дві доповнювальні стратегії: директивне регулювання і заборони на рівні ЄС (WFD, REACH/ECHA) та детерміновані дозволи і секторальні вимоги у США (NPDES/MSGP), що підкреслює важливість поєднання контролю джерел і строгого моніторингу при нормативному забезпеченні. Обмеження дослідження: відсутність власних польових даних по ряду типових ТЛЦ в Україні та брак детального економічного аналізу вартості впровадження ВМР.

На основі проведеного аналізу зроблено висновки: ТЛЦ мають реальний потенціал впливати на якість підземних і поверхневих вод, передусім через нафтопродукти та PFAS; для мінімізації ризиків необхідне поєднання інженерних рішень (сепаратори, відстійники, staged treatment, constructed wetlands), організаційних заходів (SWPPP, аварійні плани) та систематичного моніторингу з урахуванням PFAS; регуляторні заходи мають включати вимоги до інвентаризації джерел PFAS та їхньої заборони на територіях ТЛЦ; як наступні кроки рекомендуються: проведення польових досліджень на вибірці типових ТЛЦ в Україні (включно з аналізом PFAS), кількісне моделювання переносу основних забруднювачів в локальних гідрогеологічних умовах і економічна оцінка впровадження базових ВМР для малих, середніх і великих ТЛЦ.

КОРОЛЕВИЧ Н.М., ДЯЧОК В.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

МІНІМІЗАЦІЯ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна;

nazarii.korolevych.meoes.2024@lpnu.ua

Abstract. Military actions severely affect water resources through pollution and infrastructure destruction. Minimization requires rapid monitoring with modern technologies, localization of contaminants, provision of safe drinking water, and long-term ecosystem restoration. Such measures are vital for environmental security and national resilience.

В умовах воєнних конфліктів водні ресурси опиняються серед найбільш уразливих природних компонентів, оскільки на них безпосередньо впливають вибухи, руйнування інфраструктури, витік токсичних речовин та зміна гідрологічного режиму. До основних джерел забруднення належать залишки вибухових речовин, продукти горіння, нафтопродукти, важкі метали, радіоактивні ізотопи та токсичні сполуки, що потрапляють у річки й озера внаслідок руйнування гідротехнічних споруд, складів пального, хімічних і промислових підприємств. Такі процеси призводять до зниження якості питної води, загибелі водних організмів, накопичення токсинів у донних відкладеннях і розвитку довготривалих негативних екологічних тенденцій.

Ефективна мінімізація цього впливу передбачає застосування комплексу технологічних, організаційних і правових заходів, здатних забезпечити як оперативне реагування на надзвичайні ситуації, так і довгострокове відновлення водних екосистем. Серед першочергових дій – створення системи оперативного екологічного моніторингу, що базується на мобільних лабораторіях, автоматизованих постах спостереження та технологіях дистанційного зондування Землі. Це дозволяє не лише швидко ідентифікувати осередки забруднення, а й будувати прогнози поширення забруднювальних агентів, визначати потенційно небезпечні ділянки водозбору та розробляти плани локалізації шкоди.

Локалізація та нейтралізація забруднень потребує використання сучасних інженерно-технічних рішень: встановлення тимчасових бар'єрів у водних об'єктах, застосування сорбентів для збору нафтопродуктів, розгортання плаваючих загороджувальних бонів, мобільних систем фільтрації та біологічного очищення. В окремих випадках доцільним є використання біоремедіаційних технологій, які передбачають залучення мікроорганізмів і рослин для розкладу та поглинання токсичних речовин.

Надзвичайно важливим напрямом є забезпечення населення альтернативними джерелами питної води. Це може включати розгортання мобільних станцій доочищення й знезараження, встановлення модульних систем опріснення та ультрафільтрації, організацію централізованого підвозу води, створення аварійних резервів у підземних сховищах і резервуарах. У критичних умовах такі заходи дозволяють запобігти епідеміям, що можуть виникати внаслідок споживання зараженої води.

Відновлювальні дії повинні передбачати комплексні природоохоронні заходи: рекультивацію територій, очищення донних відкладів від важких металів і стійких органічних сполук, біологічну меліорацію водойм, відновлення природних фільтраційних систем (боліт, заплав, прибережних лісів). Саме вони здатні забезпечити природні механізми самоочищення водних екосистем і знизити антропогенне навантаження.

Не менш важливим є вдосконалення нормативно-правової бази, яка повинна включати механізми врахування екологічних ризиків під час ведення бойових дій, закріплювати відповідальність за шкоду, завдану водним ресурсам, і передбачати механізми компенсації на державному та міжнародному рівнях. У цьому контексті вагому роль відіграє міжнародне співробітництво: масштабні катастрофи (як-от руйнування Каховської ГЕС) мають транскордонний характер і потребують колективних зусиль у моніторингу, ліквідації наслідків і відновленні. Прикладом може слугувати досвід міжнародних екологічних місій ООН та ЄС, які застосовують сучасні методи оцінки екологічних збитків та координують допомогу країнам, що зазнали воєнних екологічних катастроф.

Таким чином, мінімізація впливу військових дій на водні об'єкти є багатовекторним завданням, що потребує інтеграції інноваційних технологій, ефективної міжвідомчої взаємодії, участі громадськості та підтримки міжнародної спільноти. Лише поєднання короткострокових заходів реагування з довгостроковими програмами відновлення дозволить забезпечити стійкість водних ресурсів і зробити їх захист невід'ємною частиною стратегії екологічної та національної безпеки.

БІЛАН Л.М. ЛЮТА О.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПЛАСТИКІВ
ЯК АЛЬТЕРНАТИВИ ПЛАСТИКУ**

Національний університет «Львівська Політехніка»

79013, вул. Степана Бандери 12, Львів, Україна; lilia.bilan.meoek.2024@lpnu.ua

Abstract. The study explores the prospects of using bioplastics as an environmentally friendly alternative to traditional plastics. It examines the issue of increasing plastic waste and its negative impact on the environment, including the formation of microplastics. The paper provides a description of the main types of bioplastics, their origins, properties, and advantages, such as biodegradability, reliance on renewable raw materials, and a reduced carbon footprint in production. Particular attention is given to the areas of practical application of biopolymers — from medicine and tissue engineering to the packaging industry and the production of disposable goods. The research is aimed at identifying sustainable solutions that can reduce anthropogenic pressure on ecosystems and contribute to the transition toward a circular economy.

У сучасних умовах глобального загострення екологічних проблем особливої актуальності набуває пошук альтернатив традиційним пластикам, які становлять серйозну загрозу для довкілля. Зростання обсягів пластикових відходів, їхня стійкість у природі та формування мікропластику зумовлюють необхідність розробки та впровадження екологічно безпечних матеріалів. Одним із перспективних напрямів виступає використання біопластиків, що поєднують у собі здатність до біологічного розкладу, залучення відновлюваних джерел сировини та зменшення вуглецевого сліду виробництва. Різноманіття видів біополімерів, їхнє походження й властивості відкривають широкі можливості практичного застосування — від медицини та тканинної інженерії до пакувальної індустрії та виробництва одноразових товарів. Таким чином, дослідження перспектив біопластиків спрямоване на формування стійких рішень, що здатні знизити антропогенний тиск на екосистеми та підтримати перехід до моделі циркулярної економіки.

Біопластик — це матеріал, виготовлений із відновлюваних біологічних джерел, зокрема кукурудзяного крохмалю, рослинних олій чи мікроорганізмів. Його створення зумовлене потребою у пошуку екологічно безпечної альтернативи традиційним пластмасам на тлі зростання проблеми забруднення та виснаження нафтових ресурсів. На відміну від звичайного пластику, який практично не піддається розкладанню, окремі види біопластиків здатні біологічно розкладатися за відповідних умов, що сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Біопластики, виготовлені з відновлюваної сировини, постають як перспективна альтернатива традиційним полімерним матеріалам. Вони поєднують у собі екологічні переваги — здатність до біорозкладу та зниження вуглецевого сліду — із широкими можливостями застосування. Серед ключових напрямів їх використання варто виокремити пакувальну індустрію, медицину, сільське господарство та виробництво одноразових виробів. Подальший розвиток технологій і підтримка сталих інновацій здатні зробити біопластики важливим елементом у формуванні циркулярної економіки та подоланні наслідків пластикового забруднення.

Між біопластиком та традиційним пластиком існує суттєва різниця, яка проявляється у джерелах сировини, впливі на довкілля, швидкості розкладу та особливостях життєвого циклу. Біопластики виготовляють з органічних ресурсів, тоді як звичайні пластмаси базуються на нафтопродуктах, що є невідновлюваними ресурсами. Важливою перевагою біопластиків є їхня здатність до біологічного розкладу: з часом вони розпадаються на безпечні для природи речовини. Біопластики, за умови належного управління їх утилізацією, здатні значно знизити рівень забруднення навколишнього середовища та зменшити обсяг відходів. Крім того, їх виробництво супроводжується меншим вуглецевим слідом.

Біопластики на основі біорозкладних полімерів сьогодні активно застосовуються у двох ключових сферах. По-перше, вони використовуються у високоспеціалізованих галузях, зокрема медицині та тканинній інженерії, де з них виготовляють біорозсмоктувані хірургічні нитки, брекети, кліпси, імпланти, а також капсули для контрольованого вивільнення лікарських засобів. По-друге, біопластики знайшли широке застосування у виробництві пакувальних матеріалів та одноразових виробів. Використання біорозкладних матеріалів у пакувальній індустрії є важливою складовою сучасної концепції сталого розвитку, адже воно сприяє скороченню кількості відходів та зниженню екологічного навантаження на довкілля.

ТКАЧЕНКО А.С., ЛЮТА О.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ**

*Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів*

Abstract. This paper proposes a hybrid, region-scale air-quality monitoring system for Lviv Oblast that integrates reference-grade stations, dense low-cost sensor networks, mobile transects, and satellite data fusion. Considering complex relief and transit corridors, the system targets “hot spots” such as valley inversions, mining clusters, and high-traffic junctions. A unified QA/QC pipeline with co-location, drift tracking, and automated outlier screening feeds public dashboards and short-term forecasts, enabling timely interventions like smart traffic management and pilot use of photocatalytic surfaces.

Львівщина поєднує передгір'я, долини та транзитні коридори, що формує строкату картину забруднення: транспортні вузли, гірничопромислові зони, приватний сектор з сезонним спалюванням палива, тваринницькі агломерації. Традиційних, поодиноких постів замало, аби побачити детальну просторово-часову динаміку. Тому пропонується гібридна мережа: еталонні станції задають метрологічний «хребет», а щільна сітка каліброваних сенсорів, мобільні вимірювання вздовж маршрутів і інтеграція з супутниковими продуктами підвищують репрезентативність без втрати якості.

Сучасний моніторинг не може обмежуватися лише фіксацією фактів перевищення. Він має пояснювати чому і де виникають піки забруднення, а також давати прогноз на найближчий час. Наприклад, у низинах області часто спостерігається температурна інверсія, яка затримує шкідливі домішки біля землі. Автоматизована мережа дає можливість оперативно виявити такі умови і попередити населення.

Щоб дані були точними, важливо запровадити чіткі правила контролю якості. Сюди входить регулярне калібрування приладів, тестування на точність, автоматичне виявлення підозрілих результатів та врахування метеорологічних факторів (вітер, вологість, опади). Завдяки цьому дані стають надійними і придатними як для науковців, так і для практичного використання органами влади.

Станції спостереження поділяються на кілька типів. Референсні (еталонні) станції забезпечують найвищу точність і вимірюють широкий спектр домішок та метеопараметрів. Фіксовані індикативні станції працюють у режимі 24/7 та передають дані в автоматичному режимі. Пересувні лабораторії дозволяють досліджувати «гарячі точки» і тимчасові осередки забруднення. Додатково застосовуються сенсорні мережі низької вартості, які після калібрування дають високу просторову роздільність карти якості повітря.

У Львівській області вже діють шість автоматизованих станцій: одна референтна та п'ять індикативних (Стрий, Борислав, Добротвір, Сокольніки, Шабельня, Шептицький).

Автоматизовані системи також відкривають шлях до онлайн-візуалізації: створення інтерактивних карт і публічних дашбордів. Це дозволяє мешканцям у реальному часі бачити стан повітря у своєму районі, а також отримувати попередження у випадку небезпечних концентрацій. Така прозорість сприяє розвитку екологічної культури та відповідальності.

Окремий напрям — використання отриманих даних для планування заходів. Йдеться не лише про штрафи чи заборони, а й про практичні рішення: оптимізацію транспортних потоків, висадку зелених насаджень у зонах з високим рівнем пилу, впровадження нових технологій, як-от фотокаталітичні покриття або спеціальні стовпи-очишувачі повітря. Усе це можна протестувати на пілотних майданчиках, а потім масштабувати для всієї області.

Розвиток системи моніторингу атмосферного повітря у Львівській області є важливим кроком у напрямі підвищення екологічної безпеки регіону. Такий підхід дозволяє перейти від пасивної фіксації перевищень до активного управління якістю повітря. Він створює умови для прогнозування, профілактики та впровадження інноваційних рішень, що робить стан атмосфери контрольованим фактором регіонального розвитку та сприяє збереженню здоров'я населення.

MATS A., MITRYASOVA O. (UKRAINE, MYKOLAIV)

**DYNAMICS OF DISSOLVED OXYGEN AND BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND
(BOD₅) IN SURFACE WATERS**

*Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine, Mykolaiv
54003, 68 Desantnykiv, 10, Mykolaiv, Ukraine; eco-terra@ukr.net*

Анотація. Визначено динаміку розчиненого кисню та біологічного споживання кисню (БСК₅) у поверхневих водах басейну Південного Бугу. Встановлено залежність цих показників від кліматичних та антропогенних чинників. Результати досліджень свідчать про поступове зниження концентрації кисню та підвищення БСК₅ у теплі періоди, що може призводити до погіршення якості води й дефіциту кисню для гідробіонтів. Регулярний моніторинг дозволяє комплексно оцінити екологічний стан водойм і визначити їхню здатність до самоочищення.

This study analyzes the temporal and spatial dynamics of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand (BOD₅) in the surface waters of the Southern Buh River basin. Dissolved oxygen and BOD₅ are considered key indicators of ecological status, as oxygen concentration determines the viability of aquatic organisms, while BOD₅ reflects the intensity of organic matter decomposition. The results indicate a gradual decline in oxygen levels, particularly during warm periods, accompanied by an increase in BOD₅ due to enhanced microbial activity. A clear inverse relationship between the two parameters was identified: higher BOD₅ values correspond to lower oxygen concentrations.

The research is based on long-term hydrological and hydrochemical observations conducted at several monitoring points along the river. Data analysis included both statistical assessment of temporal trends and comparative evaluation of spatial distribution. Regression models were applied to determine the relationship between dissolved oxygen, BOD₅, and environmental variables such as water temperature. The results demonstrate a gradual decrease in dissolved oxygen concentration over the last decades, with more pronounced declines observed during warm seasons. The linear trend analysis confirmed a negative slope, indicating an average annual decrease in oxygen levels. The inverse correlation between dissolved oxygen and BOD₅ was confirmed: when BOD₅ values are high, oxygen concentration tends to fall. This relationship highlights the ecological vulnerability of river ecosystems under combined natural and anthropogenic pressures. Spatial differences were also significant. Upstream monitoring points revealed higher oxygen content and lower BOD₅, suggesting lower pollution levels and active self-purification. In contrast, downstream sections, particularly in the Mykolaiv area, displayed critical oxygen deficiency, in some years approaching thresholds dangerous for aquatic organisms (<5 mg/L). Climatic factors play a decisive role in shaping these dynamics. Rising water temperatures reduce oxygen solubility and simultaneously stimulate microbial activity, thus increasing BOD₅. Precipitation and river discharge events affect oxygen balance by transporting organic matter from catchment areas, which elevates oxygen consumption during decomposition. The study highlights the importance of continuous monitoring of oxygen-related parameters in river systems. Regular assessment of dissolved oxygen and BOD₅ allows identifying critical zones of anthropogenic impact, evaluating the ecological stability of aquatic ecosystems, and predicting potential risks of eutrophication and biodiversity loss. The findings provide a scientific basis for improving water management strategies in the Southern Buh basin, with implications for ecological safety and sustainable development of the region.

ДУБІЛЬ І.П., МАЛЬВАНІЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ПЕР- ТА ПОЛІФТОРАЛКІЛЬНІ РЕЧОВИНИ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ:
НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
ОЧИЩЕННЯ**

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; entrance@lpnu.ua*

Abstract. The article presents an analysis of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in aquatic environments, emphasizing their persistence, bioaccumulation potential, and associated environmental and health risks. Global regulatory frameworks are compared, with attention to the gaps in Ukrainian legislation. The advantages and limitations of the main water treatment technologies are discussed, and the prospects for integrated approaches to PFAS removal are outlined.

Пер- та поліфторалкільні речовини (PFAS) належать до класу синтетичних сполук, які завдяки винятковій хімічній стабільності та стійкості до руйнування отримали назву «вічних хімікатів». Їх використання у промисловості охоплює антипригарні покриття, водо- та брудовідштовхувальні тканини, пакувальні матеріали та вогнегасні піни. Масове застосування цих сполук призвело до глобального поширення PFAS у водних об'єктах, де вони виявляють надзвичайну стійкість, високу розчинність і здатність до міграції. Унаслідок цього PFAS виявляються у питній воді, ґрунтових водах і навіть у віддалених екосистемах, що не піддавалися прямому антропогенному впливу.

Найбільшу стурбованість викликає токсична дія PFAS. Вони асоціюються із канцерогенними ефектами, впливом на печінку, щитоподібну залозу та імунну систему. Біокумуляція у живих організмах та біомагніфікація у харчових ланцюгах створюють довготривалі ризики для здоров'я людини. Тому регуляторні органи у світі приділяють велику увагу цій проблемі. У США Агентство з охорони довкілля встановило надзвичайно низькі граничні рівні PFAS у питній воді, що становлять одиниці нанограм на літр. Європейський Союз запровадив обмеження на виробництво та використання окремих сполук і визначив цільові показники для питної води, які не повинні перевищувати 100 нг/л у сумі для кількох основних речовин. В Україні ж питання PFAS поки що не має системного нормативного врегулювання, що створює потребу у гармонізації законодавства із європейськими стандартами та розробці національних методик моніторингу.

Сучасні технології очищення води від PFAS поділяються на три основні групи. Найбільш поширеною є адсорбція на активованому вугіллі, яка добре видаляє довголанцюгові сполуки, але малоефективна проти коротколанцюгових аналогів. Мембранні процеси, зокрема нанофільтрація та зворотний осмос, забезпечують високий рівень очищення, проте супроводжуються утворенням концентратів, які необхідно додатково обробляти. Перспективними вважаються просунуті окисні та електрохімічні методи, здатні до повної мінералізації PFAS до безпечних сполук, однак висока вартість та складність масштабування стримують їхнє поширення. Біотехнологічні підходи, що досліджуються в лабораторних умовах, демонструють можливість часткового руйнування окремих PFAS, але наразі їхня ефективність обмежена.

Вибір оптимальної стратегії очищення залежить від концентрації та складу PFAS у конкретному джерелі, технічних можливостей очисних споруд, економічних витрат і екологічних наслідків. Найбільш перспективними вважаються комбіновані методи, які поєднують сорбційні або мембранні процеси із подальшою деструкцією PFAS у концентраті.

ДОБРЯНСЬКА М.М., МАЛЬОВАНІЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ
ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ ЙОГО ВИДАЛЕННЯ**

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; mariana.dobrianska.meoes.2024@lpnu.ua

Abstract. Microplastic contamination of drinking water poses significant environmental and health risks due to its ability to carry toxins and microorganisms. Main sources include wastewater, industrial discharges, and plastic degradation. Current removal methods involve coagulation, membrane filtration, adsorption, and emerging biological approaches. Combined application of these technologies can effectively reduce microplastic levels, improve water quality, and minimize health risks, emphasizing the importance of ongoing research and development in microplastic removal strategies.

Забруднення питної води мікропластиком є однією із найбільш актуальних екологічних проблем сучасності, оскільки частинки розміром менше 5 мм здатні не лише накопичувати токсичні речовини, такі як важкі метали, поліхлоровані біфеніли та органічні сполуки, а й переносити патогенні мікроорганізми, що підвищує ризик негативного впливу на здоров'я людини. Аналіз сучасних досліджень показує, що у водопровідній воді міститься від 0,1 до 10 частинок мікропластику на літр, при цьому джерелами забруднення є побутові стоки, промислові викиди, деградація великих пластикових виробів та використання пластикових пакувальних матеріалів. Вміст мікропластику у питній воді пов'язаний із потенційними ризиками для здоров'я, включаючи механічні пошкодження органів, абсорбцію токсичних хімічних сполук, а також можливість накопичення у тканинах за умови тривалого вживання.

Сучасні технології видалення мікропластику із питної води охоплюють фізичні, хімічні та біологічні методи. Фізичні методи, зокрема коагуляція із наступним осадженням, дозволяють ефективно видаляти частинки розміром понад 1 мм, тоді як мембранні технології, включно з ультрафільтрацією та нанофільтрацією, здатні затримувати частинки діаметром від 0,01 до 0,1 мм. Хімічні методи, зокрема сорбція на основі активованого вугілля та окислювальні процеси, забезпечують видалення мікропластику, пов'язаного із органічними забруднювачами, на 70–80%. Біологічні технології, що включають застосування мікроорганізмів та ферментів для розкладу полімерів, знаходяться на стадії розробки та демонструють перспективу для зменшення концентрації мікропластику у водних ресурсах.

Комплексне впровадження зазначених методів у системи водопідготовки дозволяє суттєво підвищити якість питної води та мінімізувати ризики для здоров'я населення. Подальші дослідження у сфері мікропластику та удосконалення технологій його видалення є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки водопостачання та сталого розвитку водних ресурсів, що робить цю проблему надзвичайно актуальною у контексті сучасних тенденцій забезпечення екологічної безпеки та охорони здоров'я.

МАЛЬОВАНІЙ М., ЖУК В., ТИМЧУК І., ГРИЦЕНКО Н. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)
**ОСОБЛИВОСТІ АЕРОБНОГО ОЧИЩЕННЯ «МОЛОДИХ» ТА «СТАРИХ»
ФІЛЬТРАТИВ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

*Національний університет Львівська політехніка
79013, вул. С.Бандери, 12, Львів, Україна; myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua*

Abstract. Laboratory studies were conducted to establish the characteristics of aerobic treatment of "young" (Chervonohrad landfill) and "old" (Lviv landfill) leachates using a model of an aerated lagoon. Recommendations were developed regarding the technological and equipment aspects of applying the "aerated lagoon" method in field conditions.

Результати наших попередніх досліджень та досліджень ряду інших науковців вказують, що як попереднє очищення фільтратів полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) перспективним може бути аеробне очищення, ефективність якого в значній мірі залежить від віку фільтрату. Загальною є тенденція, що зі збільшенням віку фільтрату вміст органічних забруднювачів, виражений через біохімічне споживання кисню (БСК) і хімічне споживання кисню (ХСК), поступово зменшуються. При цьому зі збільшенням віку фільтрату різко знижується співвідношення БСК/ХСК, тоді як концентрація амонійного азоту ($\text{NH}_4\text{-N}$) і рН фільтрату зростають. Ці зміни в складі фільтрату пояснюються анаеробними біохімічними процесами всередині тіла полігону, які відбуваються одночасно з утворенням звалищного біогазу.

Ціллю досліджень було встановлення перспективності використання аеробного очищення фільтрату за технологією «аерованої лагуни» як pre-treatment для фільтратів різного віку. Для досліджень використовувались фільтрати Львівського полігону ТПВ («старі» фільтрати) та Червоноградського полігону ТПВ («молоді» фільтрати) Львівської області, Україна.

Дослідження очищення обох типів фільтратів проводили на експериментальній лабораторній установці. У чотири паралельно розміщені ємності (відра) наливали однакову кількість фільтрату (25 літрів), попередньо відібраного з збірників на полігонах. У перших двох фільтрат Львівського полігону ТПВ, у інших двох – Червоноградського. Умови у відрах 1 і 2 та 3 і 4 нічим не відрізнялись. Це робилось з метою отримання більшої кількості паралельних результатів досліджуваного процесу для одного типу фільтрату. Фільтрат у ємностях аерували з витратою повітря 2,5 л/хв, на що вказують дані реометра РДС-6.

Дослідженнями встановлено, що використання методу аерованої лагуни як для «молодих» так і для «старих» фільтратів не дозволяє досягти кінцевих показників очищення, тому метод не може бути рекомендованим як єдиний у системі очищення фільтратів. Проте цей метод може бути ефективним як попереднє очищення (pre-treatment) в системі багатостадійного очищення фільтратів. Перевагами такого підходу є доступність і невелика вартість реалізації методу, а також достатній рівень очищення забруднень (зниження концентрації амонійного азоту на 70% для «старих» фільтратів і на 99% для «молодих» фільтратів; зниження рівня ХСК на 31% для «старих» фільтратів і на 26% для «молодих» фільтратів; зниження концентрації P_2O_5 на 93% для «старих» фільтратів і на 81% для «молодих» фільтратів). Після попереднього очищення методом аерованої лагуни значно зменшується навантаження на фінальну стадію доочищення, якою можуть бути установка зворотного осмосу, муніципальні каналізаційні очисні споруди, штучні мочари.

ШЕВЧЕНКО Т.О., САМОХІН Є.І. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ВПЛИВ ОСАДІВ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД НА ДОВКІЛЛЯ

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
61002, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна; tamara.shevchenko@kname.edu.ua*

Abstract Domestic wastewater sludge is an integral product of wastewater treatment plants and is one of the most complex problems in the field of wastewater disposal. Its composition contains a significant amount of organic matter, biogenic elements, heavy metals, pathogenic microorganisms and other potentially hazardous compounds. Improper storage, transportation or disposal of sludge can lead to contamination of soils, surface and groundwater; negatively affect biodiversity and human health. At the same time, with proper treatment and disinfection, sludge can be a valuable resource used as an organic fertilizer or a source of bioenergy. The paper considers the main environmental risks associated with domestic wastewater sludge and modern approaches to its disposal in order to minimize the negative impact on the environment.

Проблема захисту довкілля від антропогенного навантаження є дуже актуальною та невирішеною. Одним з найнегативніших антропогенних впливів є вплив осадів побутових стічних вод. Згідно КОНЦЕПЦІЇ Державної цільової екологічної програми технічної модернізації підприємств водовідведення та очищення стічних вод, що перебувають у державній або комунальній власності, на період до 2034 року (Розпорядження КМУ від 7 лютого 2025 року) на території України орієнтовна площа мулонакопичувачів становить більше 1,5 тис. гектарів, а кількість накопиченого осаду перевищує 15 млн. тонн. Осади стічних вод десятиліттями зливаються у необробленому вигляді на переобтяжені мулові майданчики, у відвали, кар'єри.

Накопичення осадів стічних вод у рідкому стані на відкритих земельних ділянках призводить до забруднення земельних ресурсів, підземних водоносних горизонтів. Через неналежний технічний стан мулових майданчиків забруднення, накопичені у осадах, потрапляють разом з дощовим стоком до поверхневих водних об'єктів. У цьому випадку до відкритих водойм потрапляють забруднення як мінерального, так й органічного походження, важкі метали. Крім того, під час відкритого зберігання необроблених осадів стічних вод, які мають значну органічну складову, відбувається їхнє зброджування (перегнівання) та виділення небезпечних газів у атмосферне повітря (вуглекислий газ, закис азоту, метан, сірководень тощо). Окремо треба відзначити, що осади побутових стічних вод небезпечні у санітарно-епідеміологічному відношенні. Все перелічене несе негативний вплив на довкілля та потребує заходів щодо обробки та подальшої можливої утилізації осадів стічних вод.

Нажаль ситуація в Україні щодо поводження з осадами побутових стічних вод була складною і до повномасштабного вторгнення РФ у 2022 році. А війна ще більше погіршила стан інфраструктурних об'єктів України, в тому числі й об'єкти систем водопостачання та водовідведення. У Національній доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2023 році вказано, що статистика обсягів утворення осадів від очисних споруд систем централізованого водовідведення не збирається. Обсяг утворених осадів від очисних споруд систем централізованого водовідведення розраховували, виходячи з об'єму стічних вод, які було очищено в цілому по Україні протягом 2023 р. Слід зауважити, що на жодних очисних спорудах не виконується хімічний аналіз утворених та накопичених осадів стічних вод, що не дозволяє опрацьовувати технологічні схеми щодо їхньої обробки та можливих шляхів утилізації.

На прикладі басейну р. Сіверський Донець у межах Харківської області була вивчена ситуація щодо перевищення концентрацій забруднень у воді р. Сіверський Донець. Згідно звітів Сіверсько-Донецького басейнового управління водних ресурсів за 2020-2021 року та «Екологічного паспорту Харківської області за 2020 р.» (складений 2021 р.) виявлено перевищення за такими показниками: БСК₅, сульфати, хлориди, амоній сольовий, нітрати, залізо загальне, марганець, кобальт, цинк та нітрити

Були виявлені перевищення ГДК різних забруднень у воді р. Сіверський Донець (2020 р.) (табл. 1). Це вказує на систематичне антропогенне навантаження на якість води у р. Сіверський Донець через скидання очищених та недостатньо очищених стічних вод, потрапляння забруднень з сільськогосподарських територій та опосередковано свідчить про потрапляння забруднень з накопичених осадів стічних вод.

Перевищення ГДК різних забруднень у воді р. Сіверський Донець (2020 р.)

Показник	Середня концентрація (мг/дм ³)	ГДК (мг/дм ³)	Кратність перевищення	Висновок
Мідь	2,0–5,2	0,001	2000–5000 разів	Найбільш критичний забруднювач, значні перевищення у всіх створах
Марганець	1,8–2,4	0,01	180–240 разів	Дуже суттєве перевищення, системний характер
Цинк	0,9–1,3	0,01	90–130 разів	Стійке перевищення у всіх створах
Залізо загальне	0,8–1,8	0,3	3–6 разів	Регулярне перевищення, типове для природних вод регіону
Нітрити	0,1	0,02	≈5 разів	Вказує на недостатню ефективність біологічного очищення
Хлориди	1,0–1,2	0,35	≈3 рази	Джерело – побутові та промислові стоки
Амоній сольовий	0,1	0,5	<1 (норма)	Перевищень не зафіксовано
Нітрати	0,5	45	<1 (норма)	У межах допустимого
БСК ₅	1,4	3,0	<1 (норма)	Якість за органічними речовинами відносно задовільна

Осади стічних вод мають перелік властивостей, які вимагають розробки іноді дуже складних технологічних схем щодо їхньої обробки та утилізації. Осади побутових стічних вод мають великі обсяги та високу вологість (98-99%). Осади стічних вод – це суспензії, які важко фільтруються, вони мають неоднорідний склад і властивості, містять органічні речовини та здатні швидко розкладатися та загнивати. Осади побутових стічних вод заражені бактеріально, включаючи патогенну мікрофлору і яйця гельмінтів.

Згідно Директива ЄС 86/278/ЄЕС (1986) Україна зобов'язана гармонізувати національні норми з цією директивою, розробляти та впроваджувати методи та засоби щодо захисту ґрунтів і довкілля при використанні осадів у сільському господарстві. А Закон України «Про управління відходами» (2022) встановлює сучасні підходи до утилізації та повторного використання осадів. Тобто, оброблені осади стічних вод мають стати товарним продуктом та мати економічну доцільність. Зрозуміло, що має бути отримано безпечний у мікробіологічному відношенні продукт, який має або енергетичну цінність, або може бути використаний у різних галузях промислового комплексу.

Шляхи утилізації осадів стічних вод можуть полягати у використанні оброблених осадів стічних вод у якості органомінерального добрива (через вміст біогенних сполук). Зневоднені осади можуть спалюватися з отриманням тепла, можуть бути використані у виробництві різних будівельних матеріалів на основі золи та шлаку. Ще одним шляхом утилізації осадів стічних вод є отримання теплової енергії при спалюванні висушених осадів. Також осади можуть бути використані у складі сорбентів, які застосовуються для очищення газів каналізаційних колекторів. Також зневоднені та незаражені осади стічних вод у розвинених країнах застосовують для рекультивації земель, кар'єрів та закритих звалищ шляхом засипання висушеними осадами.

Отже, з вищенаведеного можна зробити висновок, що проблема утворення та накопичення осадів побутових стічних вод в Україні має загрозливий характер, потребує негайних заходів щодо впровадження новітніх методів обробки осадів. Слід пам'ятати, що в результаті обробки осадів стічних вод належить отримати кінцевий товарний продукт, який буде мати економічну доцільність та буде безпечним для довкілля.

ВЕНГЕР Я.А.¹, ДЯЧОК В.В.¹, ВЕНГЕР Л.О.¹,
ЧЕЛЯДИН Л.І.² (УКРАЇНА, ЛЬВІВ, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

**МОНІТОРИНГ ЦВІТІННЯ ВОДОРОСТЕЙ У
НЕВЕЛИКИХ ОЗЕРАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ДРОНІВ**

¹Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, пл.Св.Юра 3/4, Львів, Україна; ljuvenger77@gmail.com

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
76000, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна

Abstract. Algal blooms are observed in many water bodies around the world and have a negative impact on community health. Recently, small unmanned aerial vehicles (UAVs) have begun to be used as a cost-effective means of monitoring.

Drones can be used to monitor biomass concentrations in lake waters. Statistical regression models were created by analyzing vegetation indices obtained from multispectral UAV images and chlorophyll concentrations. The model links the spectral characteristics of lake water to algae biomass. It was found that the normalized difference vegetation index (NDVI) and the blue-to-green ratio are the indices that best correspond to chlorophyll variation in the water body. The results of this study can be used to monitor HABs using UAVs in these lakes in the future.

Як серйозна проблема якості води, шкідливі цвітіння водоростей несуть серйозну загрозу для здоров'я людини, здоров'я водних екосистем та рекреаційної діяльності. Вони зазвичай пов'язані з евтрофікацією, процесом, що виникає в результаті накопичення азоту (N) і фосфору (P) в результаті антропогенної діяльності. Ці поживні речовини іноді викликають надмірне зростання ціанобактерій або ціанофіц, які виробляють ціанотоксини. Споживання риби, забрудненої цвітінням водоростей, або прямий контакт з нею може мати шкідливі наслідки для здоров'я людей, особливо дітей.



Рис. 1. БПЛА, що використовується для збору даних

Принцип роботи полягає в тому, що спочатку планується політ, тобто створюється маршрут польоту дрона над поверхнею озера. Камери дрона фіксують зображення води в реальному часі або записують відео. Спеціалізоване програмне забезпечення аналізує кольорові показники води та інші параметри для виявлення зон цвітіння водоростей, що дозволяє оцінити тип водоростей та ступінь забруднення води. Пізніше дані перетворюються у карти для візуалізації розподілу цвітіння водоростей (рис.2).



Рис. 2. Карта для візуалізації розподілу цвітіння

Потенційні застосування:

1. Оцінка екологічного стану озер: Моніторинг здоров'я водних екосистем.
2. Прогнозування розвитку цвітіння: Дозволяє передбачити можливі негативні наслідки для навколишнього середовища.
3. Розробка заходів для боротьби з цвітінням: Надання даних для прийняття рішень щодо очищення озер та запобігання забрудненню.

Використання дронів робить моніторинг ефективним та доступним інструментом для контролю за якістю води у невеликих озерах.

Переваги використання дронів для моніторингу цвітіння водоростей:

1. Висока точність та деталізація: дрони можуть наблизитися до поверхні озера, збираючи детальні зображення, недоступні для супутникових знімків.
2. Ефективність: швидке охоплення великих площ, особливо у важкодоступних місцях.
3. Безпека: моніторинг проводиться з безпечної відстані, що виключає ризик для операторів.
4. Раннє виявлення: дрони дозволяють виявити цвітіння водоростей на ранніх стадіях, що допомагає вчасно вжити заходів.
5. Можливість використання різноманітних датчиків: дозволяє інтегрувати мультиспектральні камери та інші сенсори для більш глибокого аналізу складу води.
6. Зменшення витрат: порівняно з іншими методами, дронна техніка є більш бюджетною для локальних досліджень.

ПЕТРУШКА І.М., БАРНА О.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ ВІДХОДІВ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ НА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ**

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

Abstract. The article considers modern aspects of the technogenic impact of pulp and paper industry waste on the aquatic environment, which is manifested in the influx of significant volumes of wastewater saturated with organic and inorganic pollutants. The chemical composition of the waste is analyzed, in particular the presence of organochlorine compounds, lignin, phenols, sulfur-containing substances and heavy metals, which form a high toxic load on aquatic ecosystems. The mechanisms of the impact of these pollutants on aquatic organisms, bioaccumulation processes and long-term ecological danger to humans and the environment are revealed.

Целюлозно-паперова промисловість є однією з найбільших споживачів водних ресурсів у світі. Виробничі процеси супроводжуються утворенням значних обсягів стічних вод, що містять органічні та неорганічні забруднювачі, які можуть негативно впливати на якість водних ресурсів та екосистеми. Сучасні дослідження спрямовані на розробку ефективних методів очищення та утилізації відходів, а також на застосування інноваційних технологій для моніторингу та управління водними ресурсами.

Стічні води целюлозно-паперової промисловості містять різноманітні забруднювачі, серед яких: органічні сполуки (лігнін, целюлоза, вуглеводи, феноли); неорганічні сполуки (сульфати, амонійний азот, фосфати); токсичні речовини (важкі метали, хлорорганічні сполуки, барвники); мікроорганізми (бактерії, гриби, віруси).

Ці забруднювачі можуть призводити до зниження розчиненого кисню у воді, евтрофікації, токсичного впливу на водні організми та погіршення якості води для споживання та рекреаційного використання.

Таким чином техногенний вплив відходів целюлозно-паперової промисловості на водне середовище проявляється в: зниженні біологічної та хімічної споживаності кисню (БСК та ХСК), що свідчить про високий вміст органічних забруднювачів; накопиченні токсичних речовин у донних відкладеннях, що може призводити до довготривалого забруднення екосистем; зниженні біорізноманіття водних організмів через токсичний вплив та зміни фізико-хімічних параметрів води; погіршенні якості води, що впливає на її використання для питного водопостачання та рекреаційних потреб.

Вибір методу очищення стічних вод целюлозно-паперової промисловості залежить від складу стічних вод, вимог до якості очищення та економічної доцільності. Інтеграція різних методів у єдину технологічну лінію дозволяє досягти високої ефективності очищення та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Мета дослідження є проаналізувати техногенний вплив відходів целюлозно-паперової промисловості на водне середовище, визначити основні фізико-хімічні та токсичні характеристики стічних вод, оцінити їхній вплив на водні екосистеми та біоценози, а також запропонувати ефективні методи очищення та моніторингу з використанням сучасних технологій, зокрема геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування, розробки рекомендацій щодо зменшення екологічного ризику та впровадження технологій сталого управління відходами целюлозно-паперових виробництв.

Виходячи з вищенаведеного можемо константувати, що відходи целюлозно-паперової промисловості є значним джерелом забруднення водних ресурсів, що потребує впровадження ефективних методів очищення та утилізації відходів. При цьому використання ГІС та дистанційного зондування дозволяє здійснювати ефективний моніторинг та управління водними ресурсами, сприяючи зменшенню техногенного впливу на водне середовище. Проте для досягнення сталого розвитку целюлозно-паперової промисловості необхідно інтегрувати екологічні аспекти у виробничі процеси та впроваджувати інноваційні технології очищення та утилізації відходів.

ПЕТРУШКА І.М., ЛЯШОВСЬКИЙ А.І., ІВАХА О.І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**РОЛЬ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У МОНІТОРІНГУ
СТАНУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

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

Abstract. The research considers the role of geographic information systems (GIS) in modern approaches to monitoring the state of water resources. The functional capabilities of GIS technologies for collecting, storing, processing and visualizing spatial data related to the quality of surface and groundwater are analyzed. Special attention is paid to the integration of GIS with remote sensing methods, automated monitoring systems and statistical forecasting models. Examples of practical use of GIS for assessing anthropogenic impact on water bodies and forming scientifically based decisions in the field of environmental safety are given.

Водні ресурси є одним із ключових компонентів навколишнього середовища, що забезпечують життєдіяльність екосистем та суспільства. Проте інтенсивний розвиток промисловості, сільського господарства й урбанізації призводить до погіршення якості води, накопичення токсичних речовин, зменшення біорізноманіття. Для запобігання деградації водних екосистем необхідно впроваджувати сучасні системи моніторингу, здатні забезпечувати оперативний збір, аналіз і візуалізацію великих масивів даних.

Геоінформаційні системи (ГІС) є ефективним інструментом у моніторингу стану водного середовища, оскільки дозволяють інтегрувати просторові та атрибутивні дані, моделювати процеси розповсюдження забруднювачів та прогнозувати екологічні ризики.

Згідно з дослідженнями науковців, застосування ГІС у сфері водного моніторингу охоплює такі напрямки:

- картографування джерел забруднення та зон їхнього впливу;
- побудова моделей руху підземних і поверхневих вод;
- аналіз даних дистанційного зондування для виявлення змін у водних екосистемах;
- створення баз даних якості води.

Зарубіжні науковці (Smith et al., 2020) активно використовують ГІС у поєднанні з методами комп'ютерного навчання для прогнозування рівня забруднення річок важкими металами. В Україні (Ковальчук І. (2021).) відзначено перспективність використання ГІС у державних програмах моніторингу водних ресурсів, зокрема для аналізу стану басейнів Дніпра та Дністра.

Результати дослідження свідчать, що застосування ГІС дозволяє:

- ідентифікувати найбільш уразливі ділянки водозборів;
- створювати карти концентрації забруднювачів (наприклад, нітратів, важких металів);
- прогнозувати зони потенційного ризику для населення;
- здійснювати моніторинг водного середовища у динаміці на основі багаторічних спостережень.

Інтеграція ГІС з дистанційним зондуванням дала змогу виявити тенденції зменшення якості води у прибережних зонах водойм, що піддаються інтенсивному антропогенному навантаженню.

Таким чином ГІС-технології є невід'ємним інструментом для сучасних систем моніторингу стану водного середовища.

ПЕТРУШКА І.М., ГОЛДРИЧ А.І., КОЗАК Б.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ДИФУЗИЯ ТА КОНВЕКЦИЯ ИОНОВ КАДМИЮ З ГРУНТУ У ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

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

Abstract Migration of cadmium ions from the soil environment to water bodies is an urgent environmental problem, which is associated with the high toxicity and cumulative ability of this metal. The paper considers the main mechanisms of Cd^{2+} ion transfer, in particular diffusion, convection and sorption-desorption processes, which determine their mobility in different types of soils. Numerical modeling of migration dynamics was carried out taking into account the grain size distribution, pH and organic matter content. The study has practical significance for predicting the risks of groundwater and surface water pollution and developing effective environmental safety measures.

Сучасні екологічні проблеми значною мірою пов'язані з надмірним накопиченням важких металів у навколишньому середовищі. Особливо небезпечним є кадмій (Cd), який належить до високотоксичних елементів та характеризується здатністю до біоаккумуляції й тривалого збереження у ґрунтових системах. Джерелами надходження кадмію до ґрунту є промислові викиди, відходи гірничо-металургійного виробництва, добрива та пестициди.

Процес міграції іонів кадмію з ґрунту у водне середовище визначається низкою чинників: гранулометричним складом ґрунту, вмістом органічної речовини, кислотно-основними умовами, редокс-потенціалом та наявністю конкурентних іонів. У кислих і слабкозв'язних ґрунтах спостерігається підвищена рухомість іонів кадмію, що сприяє їх інтенсивнішому винесенню з ґрунтовим стоком у поверхневі та підземні води.

Математичне моделювання та експериментальні дослідження свідчать, що кадмій може переміщуватися на значні глибини в профілі ґрунту, а при високих концентраціях — забруднювати ґрунтові води, створюючи загрозу питним джерелам. Накопичення іонів кадмію у водоймах призводить до порушення гідробіоценозів та створює ризики для здоров'я людини через ланцюги живлення.

Гранулометричний склад ґрунту визначає співвідношення піску, пилу та глини у ґрунтовому профілі. Ця характеристика суттєво впливає на фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема на пористість, водопроникність, водоутримуючу здатність та ємність катіонного обміну (ЄКО). Ці фактори безпосередньо визначають рухомість та міграцію важких металів, таких як кадмій (Cd^{2+}), у водному середовищі.

Міграція кадмію у ґрунтово-водних системах значною мірою залежить від типу ґрунту, його гранулометричного складу, вмісту органічної речовини та кислотності. У різних видах ґрунтів рухливість іонів Cd^{2+} може суттєво відрізнятися.

Відомо, що органічна речовина: підвищує фіксацію кадмію, особливо у супіщаних і суглинкових ґрунтах, рН ґрунту (особливо кислі ґрунти) збільшують розчинність Cd^{2+} , посилюючи рухомість навіть у глинах, вологість та водопроникність: прискорюють або уповільнюють міграцію залежно від пористості.

Метою наших досліджень є визначення рухомості іонів кадмію в різних типах ґрунтів в залежності від вертикальної та горизонтальної дифузії; оцінювання ризику забруднення ґрунтових та поверхневих вод з врахуванням сумісної дії гранулометрії, органічного складу та кислотності. Для природоохоронного моніторингу важливо враховувати, що неоднорідність гранулометрії навіть у межах однієї ділянки може значно змінювати міграцію Cd^{2+} .

Таким чином, вивчення міграційних властивостей кадмію (горизонтального та вертикального розповсюдження) має важливе значення для оцінки екологічної безпеки поводження з важкими металами у водному середовищі, розробки систем моніторингу та впровадження технологій фільтрації й ремедіації ґрунтово-водних екосистем.

ГАНЯК О.І., ПОПОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ
У ҐРУНТАХ І ВОДАХ МІСТ,ЩО ПОСТРАЖДАЛИ ВІД
РУЙНУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІД ЧАС ВІЙНИ**

Національний університет “Львівська політехніка”

Abstract. Armed conflicts greatly increase environmental pollution in urban areas by releasing heavy metals into soils and waters. The destruction of infrastructure and industrial sites during hostilities introduces lead, cadmium, mercury, nickel, and uranium into ecosystems. These metals accumulate in soils, migrate into groundwater, and contaminate rivers, creating long-term risks to health and biodiversity. Their persistence and bioaccumulation make them especially dangerous, spreading through food chains and remaining in the environment for decades. Thus, heavy metal pollution in war-affected cities is a critical challenge for post-war recovery.

Повномасштабна війна в Україні спричинила руйнування значної кількості промислових підприємств, складів пального, систем водопостачання та каналізації, що стало потужним джерелом забруднення довкілля важкими металами. У результаті вибухів боєприпасів, згорання військової техніки та пошкодження комунікацій у ґрунт і воду потрапляють свинець, кадмій, ртуть, мідь, хром, нікель та інші токсичні елементи.

За даними Міністерства оборони України, на деокупованих територіях Миколаївської області у пробах ґрунту виявлено підвищений вміст важких металів (миш'яку, свинцю, міді, цинку) та залишків вибухових речовин.

Експерт Академії аграрних наук зазначає, що у зоні активних бойових дій важкі метали подекуди перевищують нормативні фонові значення в 30 разів; рівні ртуті, цинку та інших шкідливих речовин сягали перевищень у 10-18 разів. У селі Заквітне Донецької області на місці розривів снарядів зафіксовано перевищення по рухомих формах важких металів — зокрема марганцю, міді, заліза, свинцю, кадмію, хрому і цинку.

Руйнування інфраструктури під час війни значно посилює ризики забруднення вод важкими металами. Після підриву Каховської дамби у водойми було вивільнено близько 83 тис. тонн осадів, насичених свинцем, кадмієм, нікелем та хромом, концентрації яких у зразках перевищували нормативи у кілька разів. У стічних водах великих міст (Харків, Львів) вміст важких металів, за даними досліджень, у 100–1000 разів вищий за допустимі норми, що створює загрозу для підземних і поверхневих вод.

Накопичення важких металів у ґрунтах знижує їхню родючість, погіршує екологічні функції та створює ризики забруднення підземних і питних вод. Вони поширюються повітряними потоками й водними стоками, що посилює проблему навіть поза зонами бойових дій. Для міських екосистем із високою щільністю населення та значним антропогенним навантаженням це особливо небезпечно, адже важкі метали викликають ураження нервової й кровоносної систем, онкологічні хвороби та хронічні отруєння. Оскільки вони не руйнуються в природі й залишаються токсичними десятиліттями, проблема потребує комплексної стратегії подолання наслідків війни.

ОВЕРЧЕНКО Т.А., ІВАНЕНКО О.І., ФРОЛЕНКОВА С.В.,
КРИЖАНОВСЬКА Я.П. (УКРАЇНА, КИЇВ)

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ШАХТНИХ ВОД ПІД ЧАС ВИПАРОВУВАННЯ

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського» 03056, Берестейський проспект, 37 Київ, Україна*

Abstract This study presents the results of research on the effectiveness of reagents used for the stabilization treatment of mine water, depending on the conditions of their application, properties, types, and dosages. The effectiveness of scale inhibitors was evaluated using electric water heaters, and water hardness was determined by titrimetric methods.

Відомо, що найбільше води витрачається в теплообмінниках для відведення зайвого тепла. В умовах роботи замкнутих систем багаторазове підігрівання води до 40–45 °C і охолодження її в градирнях або басейнах призводить до втрат оксиду вуглецю (IV) та утворення накипу з карбонату кальцію на поверхнях теплообмінників і труб. Як альтернатива традиційному пом'якшенню води в теплообмінній апаратурі все більше застосовують фосфонові сполуки (фосфонати).

Стабілізатор накипу МДСН був синтезований із пароформу та сульфіту натрію. Його ефективність оцінювали на основі досліджень стабілізації води з шахти. Встановлено, що найвищу ефективність серед протестованих речовин демонструють фосфонові кислоти, зокрема ОЕДФК та НТМФК. Новий стабілізатор МДСН за показниками не поступається органічним кислотам і дозволяє ефективно використовувати шахтну воду в системах охолодження та теплопостачання.

Розроблені композиції, до складу яких входять фосфонати, сульфонати та сірчана кислота, показали високу здатність запобігати утворенню осадів у воді з жорсткістю до 14 мг-екв/дм³. При цьому вміст сірчаної кислоти не перевищував 2–3 мг-екв/дм³, а концентрація стабілізатора становила менше 5 мг/дм³.

Висока ефективність фосфонових кислот пояснюється їх здатністю утворювати стійкі хелатні комплекси з іонами жорсткості. Зокрема, молекула ОЕДФК формує термодинамічно стабільні шестичленні хелатні структури з іонами кальцію та магнію. Це сприяє утворенню розчинних сполук, які перешкоджають осадженню карбонату кальцію та гідроксиду магнію. Розгалужені аніони ОЕДФК, вбудовуючись у кристалічну решітку, порушують її симетрію та уповільнюють ріст кристалів. У результаті утворюються дрібні мікрочастинки, які не затримуються на теплообмінних поверхнях, а виводяться з водою з теплообмінної зони.

Аналогічними властивостями володіє і молекула нового стабілізатора накипоутворення МДСН, яка також здатна формувати шестичленні хелатні цикли з іонами жорсткості. Саме завдяки такій структурній подібності до ОЕДФК, МДСН демонструє високу ефективність при застосуванні для стабілізаційної обробки шахтних вод. Вона забезпечує запобігання утворенню щільного накипу навіть при високій жорсткості води та складних умовах експлуатації теплообмінних систем.

Розроблений новий реагент, виготовлений із доступної та економічно вигідної сировини, має комплексну дію та дозволяє значно підвищити ефективність функціонування теплообмінного обладнання. Завдяки високій інгібіторній здатності він ефективно запобігає утворенню накипу та корозії, що сприяє зниженню теплових втрат, подовженню терміну експлуатації обладнання й зменшенню частоти його обслуговування, а також не потрібно проводити масштабну реконструкцію або модернізацію існуючих систем водопідготовки та водоочищення. Ключовою перевагою даного реагенту є здатність знижувати потребу в продувці систем, що зменшує об'єм скиду технічної води та знижує загальне водоспоживання, що призводить до зниження забору свіжої води та об'ємів стічних вод. Таким чином сприяє зниженню навантаження на природні водні ресурси та очисні споруди.

АНДРОНОВ В.А. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ
ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПИТНОЮ ВОДОЮ
ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ**

Національна академія національної гвардії України

61000, майдан Захисників України, 3, Харків, Україна; mail@nangu.edu.ua

Abstract. The paper conducted experimental studies of the toxicity of samples of the most commonly used in the units of the National Guard of Ukraine polymeric containers for drinking water - polyethylene terephthalate (PET) and high-density polyethylene. It was established that PET bottle preforms and high-density polyethylene "doy-pack" bags fully meet the requirements for food polymeric packaging.

До пакувальних матеріалів питної води, призначеної для потреб Національної гвардії України (НГУ) пред'являються достатньо жорсткі санітарно-гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості та безпеки. Ці вимоги є важливим фактором забезпечення якісною питною водою підрозділів НГУ як в постійних, так і в тимчасових місцях розташування.

В якості матеріалу для пакування питної води в НГУ використовується один із найпопулярніших представників термопластичних полієфірів – поліетилентерефталат (PET). Упаковка з PET відрізняється високими фізико-механічними властивостями (міцність, еластичність, стійкість до удару, проколу та високих температур), хімічною стійкістю до агресивних рідин та екологічністю. Відпрацьована упаковка може підлягати повторному використанню тільки після технологічної переробки і, як правило, вже не в якості тари для харчових продуктів. Отже, переваги упаковки з PET очевидні. Недоліками такого пакування є неможливість повторного використання, внаслідок чого, наприклад, при застосуванні в польових умовах, накопичується велика кількість використаних пляшок, які важко вивозити, утилізувати, внаслідок чого виникає небезпека демаскування позицій. В той же час PET може виділяти у воду важкі метали та речовини, які негативно впливають на гормональний баланс людини. В разі повторного використання стає хімічно та біологічно небезпечним. Крім того, великі 3 або 6 літрові пляшки неможливо використовувати при виконанні деяких службово-бойових завдань, пов'язаних з швидким переміщенням тощо.

Іншим популярним матеріалом для пакування питної води є поліетилен (ПЕ) високої густини, який набув популярності у вигляді невеликих «дой-паків» об'ємом не більше 0,25 л. Вважається, що ця упаковка майже не виділяє у воду небезпечних речовин. Перевагою є і те, що малі розміри такої упаковки дозволяють військовослужбовцям легко замаскувати відпрацьовану тару, використовувати «дой-паки» при виконанні будь-яких завдань, в тому числі, доставляти у важкодоступні місця.

Питання безпечного використання тари з точки зору виділення хімічних речовин, оцінки рівнів їх міграції та можливого впливу на питну воду є достатньо актуальними. Слід зазначити, що взаємодія пакувального матеріалу та питної води визначаються швидкістю переміщення газів, водяної пари, вологи, низькомолекулярних сполук: з води крізь шар упаковки в навколишнє середовище; з довкілля крізь упаковку у воду; з води до пакувального матеріалу; з пакувального матеріалу у воду. Така взаємодія може призвести до істотної зміни як води, так і упаковки. Міграції компонентів, що входять до складу пакувального матеріалу, контролюється допустимою кількістю міграції (ДКМ) залишкових мономерів, барвників, стабілізаторів, пластифікаторів та інших компонентів.

При дослідженні преформ пляшок PET для вирішення питання їх відповідності вимогам харчової безпеки в обов'язковому порядку проводяться токсикологічні дослідження. При цьому контролюється рівень міграції таких хімічних компонентів: ацетальдегід, формальдегід, диметилтерефталат (ДМТФ), етиленгліколь, метиловий спирт, бутиловий, ізобутиловий спирт, ацетон. При дослідженні преформ пляшок PET особливої уваги заслуговує визначення слідових кількостей фталатів, оскільки ці леткі хімічні сполуки можуть несприятливо впливати на воду при певних рівнях їх виділення з упаковки. Тому необхідний ретельний аналітичний контроль за рівнями виділення цих речовин із PET - пляшок. Важливим є визначення слідових кількостей ДМТФ – одного з основних компонентів, що беруть участь у процесі конденсаційної полімеризації PET. Для визначення ДМТФ використовується газохроматографічний метод із застосуванням капілярної кварцової колонки та полум'яно-іонізаційного детектора. Ефір терефталевої кислоти екстрагується з досліджуваних об'єктів н-гексаном з подальшою реекстракцією метанолом і визначенням досліджуваної речовини в сконцентрованому екстракті газохроматографічно.

У випробувальній лабораторії Хмельницького національного університету було проведено токсиколого-гігієнічну оцінку вмісту ДМТФ, ді(2-етилгексил)-фталату (ДЕГФ), ді-н-бутилфталату (ДнБФ) та диізобутилфталату (ДіБФ) у питній воді, внесений у преформу пляшок PET. Зразки пакетів «дой-пак» з поліетилену високої густини методом токсикологічної експертизи *in-vitro* були проаналізовані щодо впливу на шкіру LD-50 (щури) та подразнення очей (кролик). Екстракти (зразків пляшок PET та модельне середовище) проаналізовані методом газової хроматографії. З метою підвищення чутливості та селективності визначення залишкового вмісту ДМТФ використано методику визначення, засновану на екстракції диметилтерефталату з модельних розчинів, що імітують харчові продукти н-гексаном з подальшим газохроматографічним визначенням при використанні детектора постійної швидкості рекомбінації. Цей метод дозволяє значно скоротити обсяги як самих досліджуваних об'єктів, так і екстрагента. Також методом токсикологічної експертизи *in-vitro* преформи пляшок PET були проаналізовані щодо впливу на шкіру LD-50 (щури) та подразнення очей (кролик).

В результаті досліджень встановлено, що зразки PET-преформ містять залишкові кількості фталатів в діапазоні ДМТФ 0,1-0,2 мг/кг; ДЕГФ 0,7-1,2 мг/кг; ДнБФ 0,4-3,3 мг/кг; ДіБФ 0,2-1,2 мг/кг. Міграція фталатів у водні модельні середовища відзначена з усіх досліджених зразків. У зразках, що контактують з матеріалом PET, на 7 добу при температурі 20 °C відзначається наявність 2 фталатів ДЕГФ 8,6-71,0 мкг/л та ДіБФ 2,6-19,2 мкг/л. Порівняння концентрацій фталатів у модельних середовищах зі значеннями допустимого добового споживання показало, що вода бутильована забезпечує обмежений внесок у загальну добову експозицію фталатів. Фактично, за рівнем вмісту фталатів преформи пляшок PET повністю задовольняють вимоги до харчової полімерної упаковки.

За результатами токсикологічної експертизи *in-vitro* преформ з PET отримані дані:

- вплив на шкіру LD-50:(щури)>1000 мг/кг (найвищі дози при випробуваннях) - подразнення шкіри (щури) невелике;
- роздратування очей (кролик) – від невеликого до середнього.

Згідно з сучасним станом науки, матеріали пакетів з поліетилену високої густини не становить небезпеки для людини, для здоров'я людей. Загальновідомі дані по токсичності поліетилену високої густини:

- гостра токсичність у разі тварин загальновідома на рівні LD50 орально - щур > 3000 мг/кг-1;
- чутливість: не має доведеного впливу на чутливість;
- токсичність, спричинена повторною схильністю до ризику: не визначена.
- CMR ефекти (канцерогенний, мутагенний вплив, репродуктивна токсичність): не має доведеного CMR ефекту.

За результатами токсикологічної експертизи *in-vitro* пакетів з поліетилену високої густини отримані такі дані:

- вплив на шкіру LD-50:(щури) > 3000 мг/кг (найвищі дози при випробуваннях) - подразнення шкіри (щури) невелике;
- роздратування очей (кролик) – невелике.

В результаті досліджень встановлено, що пакети з поліетилену високої густини «дой-пак» повністю задовольняють вимогам до харчової полімерної упаковки, виходячи з проведеної токсикологічної експертизи *in-vitro*.

Отже, виходячи з проведеної токсикологічної експертизи *in-vitro*, преформи пляшок PET та пакети з поліетилену високої густини «дой-пак» повністю задовольняють вимогам до харчової полімерної упаковки.

ДОБРЯНСЬКА М.М., МАЛЬОВАНІЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ
ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ ЙОГО ВИДАЛЕННЯ**

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна;

mariana.dobrianska.meoes.2024@lpnu.ua

Abstract. Microplastic contamination of drinking water poses significant environmental and health risks due to its ability to carry toxins and microorganisms. Main sources include wastewater, industrial discharges, and plastic degradation. Current removal methods involve coagulation, membrane filtration, adsorption, and emerging biological approaches. Combined application of these technologies can effectively reduce microplastic levels, improve water quality, and minimize health risks, emphasizing the importance of ongoing research and development in microplastic removal strategies.

Забруднення питної води мікропластиком є однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності, оскільки частинки розміром менше 5 мм здатні не лише накопичувати токсичні речовини, такі як важкі метали, поліхлоровані біфеніли та органічні сполуки, а й переносити патогенні мікроорганізми, що підвищує ризик негативного впливу на здоров'я людини. Аналіз сучасних досліджень показує, що у водопровідній воді міститься від 0,1 до 10 частинок мікропластику на літр, при цьому джерелами забруднення є побутові стоки, промислові викиди, деградація великих пластикових виробів та використання пластикових пакувальних матеріалів. Наявність мікропластику у питній воді пов'язана з потенційними ризиками для здоров'я, включаючи механічні пошкодження органів, абсорбцію токсичних хімічних сполук, а також можливість накопичення у тканинах при тривалому вживанні.

Сучасні технології видалення мікропластику з питної води охоплюють фізичні, хімічні та біологічні методи. Фізичні методи, зокрема коагуляція з наступним осадженням, дозволяють ефективно видаляти частинки розміром понад 1 мм, тоді як мембранні технології, включно з ультрафільтрацією та нанофільтрацією, здатні затримувати частинки діаметром від 0,01 до 0,1 мм. Хімічні методи, зокрема сорбція на основі активованого вугілля та окислювальні процеси, забезпечують видалення мікропластику, пов'язаного з органічними забруднювачами, на 70–80%. Біологічні технології, що включають застосування мікроорганізмів та ферментів для розкладу полімерів, знаходяться на стадії розробки та демонструють перспективу для зменшення концентрації мікропластику у водних ресурсах.

Комплексне впровадження зазначених методів у системи водопідготовки дозволяє суттєво підвищити якість питної води та мінімізувати ризики для здоров'я населення. Подальші дослідження у сфері мікропластику та удосконалення технологій його видалення є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки водопостачання та сталого розвитку водних ресурсів, що робить цю проблему надзвичайно актуальною у контексті сучасної екології та охорони здоров'я.

ПОПОВИЧ С.П., ПОПОВИЧ О.Р., МАЛЬОВАНІЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ РЕСУРСИ ТА
РОЛЬ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ У ЇХ МОНІТОРИНГУ**

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, пл.Св. Юра 3/4, lpolenaeko@yahoo.com*

Abstract. Climate change is a global phenomenon that significantly affects natural resources, including water. As a result of climate change, precipitation changes and air temperatures increase, which leads to disruption of the natural water balance. These factors directly affect the availability and quality of water, which in turn creates serious challenges for the environment, economy and society.

Кліматичні зміни — це глобальне явище, яке суттєво впливає на природні ресурси, зокрема на водні. Внаслідок змін у кліматі змінюється кількість опадів, температура повітря підвищується, що призводить до порушення природного водного балансу. Ці фактори безпосередньо впливають на доступність і якість води, що, у свою чергу, створює серйозні виклики для екології, економіки і суспільства.

Одним із основних проявів кліматичних змін є нерівномірний розподіл опадів у часі та просторі. У деяких регіонах збільшується кількість опадів і повені, а в інших — посухи і дефіцит водних ресурсів.

Підвищення температури призводить до інтенсивнішого випаровування води, що додатково зменшує запаси прісної води. Зміни також торкаються льодовиків, які є важливим джерелом води для багатьох річок. Танення льодовиків змінює сезонні потоки води, що негативно впливає на постачання води у теплі місяці.

Усе це потребує нових методів моніторингу і управління водними ресурсами. Традиційні методи, що базуються на точкових вимірах, не можуть швидко і ефективно відслідковувати динамічні зміни в системі. Тому важливу роль відіграють інформаційні технології (ІТ).

ІТ-технології дозволяють отримувати комплексні дані про стан водних об'єктів за допомогою супутникового моніторингу, сенсорних мереж та автоматизованих систем збору інформації. Ці дані обробляються за допомогою методів Big Data, що допомагає аналізувати великі обсяги інформації і виявляти закономірності.

Крім того, цифрові платформи і мобільні додатки допомагають оптимізувати використання води у різних галузях, наприклад, у сільському господарстві, де зрошення є основним споживачем води. Інтелектуальні системи управління дозволяють регулювати витрати води в реальному часі, знижуючи втрати та підвищуючи ефективність.

Окремо слід відзначити вплив війни в Україні на стан водних ресурсів. Воєнні дії пошкоджують інфраструктуру водопостачання, забруднюють водні об'єкти, а також ускладнюють доступ до води для багатьох громадян. В таких умовах ІТ-рішення стають критично важливими для оперативного моніторингу якості і доступності води. Використання дронів, супутникових знімків і цифрових систем допомагає швидко виявляти пошкодження, оцінювати масштаби забруднень та планувати ремонтні роботи. Крім того, цифрові платформи сприяють координації гуманітарної допомоги та поширенню інформації про безпечні джерела води серед населення.

Поєднання знань про кліматичні зміни з сучасними ІТ-технологіями є ключем до успішного управління водними ресурсами в умовах нових викликів, включно з воєнним конфліктом. Розробка та впровадження таких технологій дозволить зберегти водні ресурси і забезпечити сталий розвиток суспільства навіть у складних умовах.

МАКСИМЮК А.Б., ПОПОВИЧ О.Р., ПОПОВИЧ С.П. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ЯКІСТЬ ВОДИ У РІЧКАХ

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, пл.Св. Юра 3/4, lpolenaeko@yahoo.com*

Abstract. Microplastic pollution of aquatic ecosystems spreads through rivers into marine ecosystems, causing harm to living organisms and the environment and is a serious global problem. In rivers, plastic breaks down into small particles under the influence of physical, chemical and biological factors, making it difficult to remove from the water. To prevent further pollution, effective waste management strategies must be implemented.

Мікропластикове забруднення є глобальною проблемою в цілому світі, яке різко зростає та несе значний вплив на живі та неживі компоненти екосистеми. Оцінка забруднення річок мікропластиком вимагає комплексного підходу, оскільки концентрація мікропластику в поверхневих шарах води не є надійним індикатором загального рівня забруднення в усьому водному стовпі.

На рівень виявленого забруднення значною мірою впливають також географічне розташування та сезон відбору проб. Наприклад, солоність і температура води змінюють властивості біоплівки, що формуються на поверхні часток, і відповідно впливають на їхню плавучість. Додаткову екологічну загрозу становить хімічна взаємодія мікропластикових часток із забруднювачами навколишнього середовища. Різні полімери мають специфічну здатність сорбувати й вивільняти важкі метали, стійкі органічні забруднювачі, фармацевтичні препарати та антибіотики.

Основним джерелом забруднення прибережних морських вод мікропластиком є річки. Вони поглинають пластикові відходи з міста, промислових зон та сільськогосподарських територій і несуть їх у відкриті води. Саме річка виконує роль транспортного каналу, в якому пластик розпадається на дрібні частинки і вже в такому вигляді надходить у море. Процес розпаду відбувається під дією навколишнього середовища завдяки механічній фрагментації, фотодеградації, термічній деградації та біодеградації. Найпоширенішим типом полімеру, виявленого в річках, є поліетилен (PE) (42%), поліпропілен (PP) (30%) і полістирол (PS) (11%). Також часто спостерігаються такі типи полімерів, як поліетилентерефталат (ПЕТ), поліамід і поліестер.

Річка є життєво важливим джерелом води для людей і домівкою для водних організмів, але водночас значна частина мікропластикового забруднення транспортується до моря саме її потоками. А отже, й очистити забруднені річки стає великим випробуванням. Проте, якщо не вжити ефективних заходів щодо зменшення забруднення річок, кількість мікропластику в морях і океанах лише збільшуватиметься, чим загрожуватиме не лише навколишньому середовищу, а й добробуту і здоров'ю мільйонів людей.

Хоча річки відіграють роль основного шляху перенесення мікропластику до морів, значна його частина осідає у прибережних і донних відкладеннях, знижуючи фактичний обсяг виносу до океану. Проте урбанізація, зміна течії та гідрологічного режиму можуть призвести до повторного вивільнення цих частинок, посилюючи екологічну загрозу.

Щороку 19-23 мільйони тонн пластикових відходів потрапляють у водні об'єкти. Проблема ця не лежить на поверхні, у буквальному значенні, адже більшість пластику осідає на морському дні, утворюючи там підводні сміттєзвалища, які з часом лише збільшуються. Близько 80% пластикового забруднення надходить в морські екосистеми із наземних джерел. Решта 20% потрапляє безпосередньо з моря і це рибальське спорядження, пластикові відходи з судноплавства та туристичне сміття.

МОКІЄНКО А.В. (УКРАЇНА, ОСТРОГ, РІВНЕНСЬКА ОБЛАСТЬ)

ХІМІКО-МІКРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІОКСИДУ ХЛОРУ ЯК ЗАСОБУ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

Національний університет «Острозька академія»

35800, вул. Семінарська 2, м. Острог, Рівненська область; osa@oa.edu.ua, press@oa.edu.ua

Abstract. A detailed analysis of the fundamental chemical and biological paradigm regarding the formation and participation of free active chlorine as a secondary oxidant during disinfection with chlorine dioxide is presented: chlorine dioxide is mainly responsible for membrane damage, due to which the formed free active chlorine as a secondary oxidant causes damage to the cytoplasm. The literature data and the results of our own research are summarized to substantiate the biocidal effectiveness of chlorine dioxide and the mechanisms of inactivation of various microorganisms.

Сформульовано одноставну думку провідних дослідників діоксиду хлору як дезінфектанту: незважаючи на використання надсучасних методів досліджень і експоненціальний ріст публікацій, діоксид хлору є найменш вивченим реагентом. Представлено докладний аналіз фундаментальної хіміко-біологічної парадигми щодо утворення і участі вільного активного хлору як вторинного окиснювача під час дезінфекції діоксидом хлору, який головним чином відповідає за пошкодження мембрани, завдяки чому утворений вільний активний хлор як вторинний окиснювач викликає пошкодження цитоплазми (Мокієнко А.В. Діоксид хлору. Том 1. Хімія).

Висловлено думку, що діоксид хлору інактивує бактеріальні клітини не шляхом лізису, а шляхом дифузії через зовнішні та цитоплазматичні мембрани, збільшуючи їхню проникність та викликаючи вивільнення життєво важливих компонентів клітин, що, по суті, призводить до їхньої інактивації.

Встановлено високий біоцидний ефект діоксиду хлору по відношенню до актуальних збудників нозокоміальних інфекцій (*P. aeruginosa*, *S. aureus* та гриби роду *Candida*) при їх циркуляції у воді із систем водопостачання лікарняних закладів (Мокієнко, 2009).

Кінетика інактивації вірусів має дві фази: початкову фазу швидкої інактивації, за якою слідує фаза хвоста. Швидкість інактивації вірусів зростає зі збільшенням рН або температури, але демонструє різні тенденції зі збільшенням концентрації розчиненої органічної речовини (DOM). Пошкодження вірусних білків та 5'-некодуєчої області в геномі сприяють інактивації вірусу після дезінфекції діоксидом хлору. Загалом, летальною метою діоксиду хлору для вірусів є деструкція вірусного білка капсиду та дефрагментація РНК або ДНК.

Встановлено високу віруліцидну ефективність діоксиду хлору по відношенню до значущих вірусних контамінантів питної води (поліовірусу, аденовірусу, вірусу Коксакі, вірусу ЕЧО) та вірусу пташиного грипу (Мокієнко, 2009).

Узагальнення даних літератури щодо біоцидної ефективності діоксиду хлору показало наступне. Рівні інактивації найпростіших (ооцист *Cryptosporidium parvum*, цист *Nagleria gruberi*) діоксидом хлору та озоном майже ідентичні. Показано, що головний механізм інактивації діоксидом хлору бактеріальних спор полягає у пошкодженні внутрішньої мембрани спори. Виявлено, що альгацидна дія діоксиду хлору полягає у впливі і на структури захисного покриття клітини, і на внутрішньоклітинні компоненти. Узагальнено результати досліджень впливу діоксиду хлору і хлориту (як побічного продукту) на біоплівки. Обґрунтовано необхідність забезпечення залишкової концентрації діоксиду хлору у питній воді з водорозподільних мереж (Мокієнко А.В. Діоксид хлору. Том 2. Мікробіологія).

Висновки. Діоксид хлору є високо ефективним біоцидним реагентом для знезараження води. Однак потрібні подальші дослідження для повного розуміння механізмів інактивації патогенів, токсинів, генів антибіотикорезистентності та підтвердження мішеней інактивації різних типів мікроорганізмів.

Діоксид хлору нестабільний і має тенденцію розкладатися при нагріванні або під дією світла, що вимагає підготовки на місці для негайного використання. У зв'язку із цим набуває неабиякої актуальності розробка дезінфікуючих засобів із повільним та стабільним вивільненням діоксиду хлору.

Потенційний вплив діоксиду хлору на здоров'я людей і тварин є сферою, яка потребує подальших досліджень.

КАЛЬМУК С.Д., САХНЮК І.І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ТА ЇЇ ЗМІН У ПРИВАТНИХ ДОМОГОСПОДАРСТВАХ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ СМТ БРЮХОВИЧІ (м. ЛЬВІВ, УКРАЇНА)

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, 79053, вул. Наукова, 3а, м. Львів, Україна, solomiya.kalmuk@gmail.com

Abstract. A study of changes in the quality of drinking water from wells of private houses of the southwestern part of Bryukhovychi was conducted. Monitoring was conducted during 2010-2023. It was found that water quality has deteriorated at most sampling points. The content of macrocomponents and the composition of the tested water have changed. The content of ammonium, nitrates and nitrites decreased or increased insignificantly. And this indicates a minor anthropogenic impact. The best indicators of water quality are observed in wells that have a relatively small depth compared to other studied objects (13 m and 30 m). And therefore the authors suggest that changes in water composition occur in deeper (lower) aquifers.

Мета дослідження: дослідити зміни якості питної води із свердловин приватних осель у південно-західній частині смт Брюховичі впродовж 2010-2023 рр.

Об'єкти дослідження: підземні води свердловин приватних домогосподарств смт Брюховичі, розташованих на вулицях Ожиновій (№ 1, 2, 6, 7, 8) та Лісній (№ 8а).

Методи дослідження: аналітичні визначення води виконано в атестованій лабораторії спектральних і хімічних методів аналізу ІГТГК НАН України згідно з ДСТУ та ГОСТами (2010-2012 рр., 2023 р.) та в науково-дослідній геотехнічній лабораторії ТзОВ «НВПТ «Геол-Тех» (2023 р.). Визначено наступні показники: рН, мінералізацію, загальну твердість, концентрації Натрію (Na^+), Калію (K^+), Кальцію (Ca^{2+}), Магнію (Mg^{2+}), хлоридів (Cl^-), фосфатів (PO_4^{3-}), сульфатів (SO_4^{2-}), гідрокарбонатів (HCO_3^-), нітритів (NO_2^-), нітратів (NO_3^-), сполук амонію (NH_4^+), Феруму, Мангану, величину перманганатної окиснюваності (Оперм) та ін. Придатність води для питних потреб оцінювали шляхом порівняння значень параметрів якості води з нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК) [1].

Основні результати: досліджено зміну якості питної води для приватних домогосподарств у смт Брюховичі на вулицях Ожиновій (будинки 1, 2, 6, 7, 8) та Лісній, 8а за період 2010-2023 рр. Віддаль між свердловинами становить близько 30-90 м. Глибина свердловин різна: на вулиці Ожиновій свердловини пробурені в крейдових відкладах до глибини 30-56 м, на вулиці Лісній – до глибини 13 м [2].

Вода зі свердловини *буд. Ожинова, 1* з 2012 р. змінила свій склад. Зросли показники мінералізації, твердості, сульфатів, хлоридів, гідрокарбонатів, Кальцію, Магнію, Натрію, Калію. Але жоден з цих показників не перевищує норму ГДК у 2023 р. Вода з помірно-жорсткої стала жорстка, надалі залишається прісною. Впродовж 11 років несуттєво змінила свій хімічний склад: з хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатної натрієво-кальцієвої до хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатної магнієво-кальцієво-натрієвої за рахунок зростання вмісту натрій-іона. Вміст сульфат- і хлорид-іонів також зріс.

Пробу води зі свердловини *буд. Ожинова, 2* порівнюємо з 2010 р. Варто зауважити, що порівняно з 2010 р. змінено глибину свердловини – 48,5 м (початкова глибина – 58 м). Вода була і залишається слабкомінералізованою і у 2023 р. мінералізація перевищує норми ГДК. Жорсткість змінилась від жорсткої до дуже жорсткої, перевищує ГДК (станом на 2023 р.). Збільшився вміст сульфатів, хлоридів, гідрокарбонатів, Кальцію, Магнію, Натрію, Калію, вміст сполук амонію — зменшився удвічі. У 2010 р. вода була нетиповою порівняно з іншими досліджуваними свердловинами (гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна магнієво-кальцієво-натрієва) і у 2023 р. майже не змінила свого складу (гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатна магнієво-кальцієво-натрієва).

Значні зміни відбулись в хімічному складі води у *буд. Ожинова, 6*. За водневим показником рН вода помінялась у бік кислотності від 7,19 (2012 р.) до 6,61 (2023 р.). Суттєво погіршилась ситуація щодо мінералізації: Спостерігаємо її зріст у 2,5 рази і перевищення ГДК, вода із прісної стала слабкомінералізованою. Аналогічно і твердість: вода із жорсткої стала дуже жорстка, твердість зросла і перевищила ГДК у 2023 р.. Змінився вміст макрокомпонентів, перевищення ГДК: сульфати, хлориди (збільшення у 6 разів), Кальцій, Натрій (збільшення більше, ніж у 6 разів), зросли концентрації іонів Магнію та Калію, а також сполук амонію (ГДК не перевищено). Вода від хлоридно-сульфатно-

гідрокарбонатної магнієво-натрієво-кальцієвої у 2012 р. стала гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна магнієво-кальцієво-натрієва у 2023 р.

Суттєві зміни складу води відзначаємо зі свердловини *буд. Ожинова, 7*. Впродовж 12 років показники суттєво зросли, хоча ГДК не перевищено (окрім показників Кальцію та Натрію), але спостерігається тенденція щодо погіршення якості даної проби води. Вода із прісної стала слабкомінералізованою, з помірно жорсткої стала жорсткою, але ГДК не перевищено. Сульфати збільшились майже у 8 разів, хлориди – у 6 разів. Зросли інші показники макрокомпонентів, окрім Магнію (незначно зменшився). Значні зміни відбулися в хімічному складі води: від сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатної магнієво-натрієвої-кальцієвої у 2011 р. до гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатної магнієво-кальцієво-натрієвої у 2023 р. Як і у буд. Ожинова, 6, зміни відбулися за рахунок зростання вмісту сульфат-, хлорид- та натрій-іонів.

Свердловина *буд. Ожинова, 8* пробурена на глибині 30 м, тоді як решта досліджуваних свердловин цієї вулиці мають глибину 48-56 м. Порівняно з 2013 р. склад води змінився несуттєво, перевищення по ГДК не зафіксовано. Вода залишається прісною (зростання мінералізації незначне), її жорсткість змінилась із помірно жорсткої до жорсткої. Вміст макрокомпонентів дещо зріс, амонію у воді не виявлено. Загалом, хімічний склад води даної свердловини впродовж 10 років майже не змінився, а її якість залишається однією з найкращих серед досліджуваних.

Серед свердловин з найкращими показниками якості води відзначаємо також свердловину *буд. Лісна, 8а*. Варто зауважити, що глибина свердловини – 13 м (що суттєво відрізняється від усіх інших досліджуваних проб). Щодо показника мінералізації, то спостерігаємо найкращу ситуацію: вода залишається прісною, ГДК не перевищено і зріст мінералізації незначний. Загальна твердість проби води зросла, із помірно жорсткої стала жорсткою, проте ГДК не перевищено. Відмічаємо зростання вмісту макрокомпонентів (незначне перевищення ГДК лише по вмісту іонів Кальцію). Хоча вміст іонів Натрію не перевищує норми ГДК, але порівняно з 2012 р. його концентрація збільшилась вдесятеро! (з 2,3 мг/дм³ до 23,6 мг/дм³). Вміст амонію незначно зріс, але знаходиться в межах норми. Склад води зі свердловини впродовж 11 років майже не змінився, а її якість залишається однією з найкращих, досліджуваних авторами.

Висновки. Порівняльний аналіз якості питної води в південно-західній частині смт Брюховичі впродовж 2010-2023 рр. дозволяє дійти висновків, що якість питної води зі свердловин приватних домогосподарств суттєво змінилася. У більшості точок відбору склад води погіршився, багато показників макрокомпонентів перевищило або наближається до значення гранично допустимих концентрацій. За водневим показником рН води є нейтральні і не перевищують гранично допустимих концентрацій. Зросла мінералізація та загальна твердість відібраних проб води, у всіх досліджуваних пробах вода стала жорсткою. Тобто, спостерігається тенденція до погіршення якості питної води у всіх досліджуваних авторами свердловинах. Вміст амонію, нітратів та нітритів зменшився або зріс несуттєво, що свідчить про незначний антропогенний вплив, а зміни складу вод відбуваються у глибших (нижніх) водоносних горизонтах. Найкращими показниками якості води відзначаються дві свердловини, які мають відносно невелику глибину порівняно з іншими досліджуваними об'єктами – 13 м та 30 м (буд. Лісна, 8а та буд. Ожинова, 8 відповідно).

[1] Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. ДсанПіН 2.2.4-171-10 / Наказ МОЗ України № 400 від 12.05.201 р. – К., 2010. – 48 с. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

[2] Кальмук С., Сахнюк І., Кохан О., Занкович Г. Дослідження зміни якості питної води у південно-західній частині селища Брюховичі // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2024. – № 1-2 (193-194). – С. 141-153. <https://doi.org/10.15407/ggcm2024.193-194.141>

ДРИГУЛИЧ С.П., ОРФАНОВА М.М.,
ДРИГУЛИЧ П.Г. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК, КИЇВ)

ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ У НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; serhii.dryhulych@nung.edu.ua,
mariia.orfanova@nung.edu.ua, pzy@ukr.net

Abstract. Temporary water intakes are set up at drilling sites to supply water for the technological process of drilling oil and gas wells and for the sanitary and hygienic needs of workers. Special water use is subject to a fee and is carried out based on a permit. Permits are short-term (up to three years) and long-term (from three to twenty-five years). The duration of oil and gas well drilling is significantly shorter than the term of the permit, so there is an urgent need to introduce a declarative principle for such water intakes, as a significant number of water users operate without permits and are forced to pay rent at five times the amount of their profits. It is also necessary to regulate the return of associated formation water to underground horizons.

З метою водозабезпечення технологічного процесу буріння нафтогазових свердловин та для санітарно-гігієнічних потреб працівників бригад на бурових майданчиках облаштовуються тимчасові водозабори. Відповідно до вимог Водного кодексу України (далі – Кодекс) спеціальне водокористування є платним і здійснюється на підставі дозволу, який видається органами Держводгоспу. Дозволи на спецводокористування (далі – дозволи) є короткострокові до трьох років, і довгострокові від трьох до двадцяти п'яти років. Тривалість буріння свердловин становить значно менші терміни ніж термін дії дозволу. Так в залежності від глибини свердловини тривалість буріння орієнтовно становить: до 1000 м – 12-15 діб; до 2000 м – 40-45 діб; до 3000 м – 50-61 доба; до 3500 м – 80-89 діб; до 4000 м – 92-99 діб; до 4500-110-115 діб; до 5000 м – 118-121 доба; до 5500 – 125-130 діб; до 6000 м – 181-192 доби; > 6000 м – 256-270 діб. Тільки у разі певних ускладнень під час буріння чи аварій можуть виникнути ситуації з більшими термінами влаштування свердловин.

Враховуючи такі стислі терміни і складну процедуру оформлення дозволів, значна частина бурових компаній здійснює водозабір без відповідних дозволів, через що сплачує рентну плату за спецводокористування у п'ятикратному розмірі. При чому у разі використання води у межах встановленого в дозволі ліміту рентна плата включається до складу витрат, а за понадлімітне використання справляється з прибутку, що залишається у розпорядженні водокористувача після оподаткування. Тому необхідно внести відповідні зміни у законодавство щодо запровадження декларативного принципу для таких тимчасових водозаборів.

Територіальними органами Держводагенства, видається суб'єкту господарювання чи його філії один загальний короткостроковий дозвіл на спецводокористування на всі водозабори/випуски у межах адміністративно-територіальної одиниці. Таким чином, суб'єкти господарювання позбавлені права отримати окремий довгостроковий дозвіл на частину водозаборів в межах області, які функціонують на постійній основі. Це зумовлює щомісячно (інколи навіть частіше) вживати заходи щодо припинення дії (відкликання, визнання недійсним) загального дозволу та отримання нового, що призводить до затримок початку бурових робіт та необґрунтованого додаткового адміністративного навантаження на підприємства й відповідні територіальні органи Держводгоспу. Таким чином, суб'єкти господарювання позбавлені права отримати один довгостроковий дозвіл на частину водозаборів, які функціонують на постійній основі та окремо короткострокові дозволи на інші водозабори.

На практиці найчастіше дозволи видаються терміном лише на 3 (три) роки, як на короткострокове, так і на довгострокове водокористування, оскільки відмінності між ними у статті 50 Кодексу нівельовані. При чому на порталі електронних послуг Держводагенства у Переліку дозволів на спеціальне водокористування немає жодного дозволу терміном понад десять років. Переважна більшість дозволів у реєстрі є терміном на три і п'ять років.

Враховуючи те, що у зв'язку з кліматичними змінами в Україні на даній спостерігається зменшення обсягів доступних до використання прісних водних ресурсів, обміління поверхневих водних об'єктів чи вичерпання підземних вод, забруднення водоносних горизонтів тощо, тому доцільності в існуванні довгострокового дозволу терміном на двадцять п'ять років на думку авторів немає.

Крім цього у Кодексі не врегульовано питання щодо погодження технологічних проектів повернення супутньо-пластових вод (далі – СПВ) у підземні горизонти, через що Міндовкілля не

погоджує їх протягом тривалого періоду. Тому авторами пропонується надавати технологічні проекти з повернення СПВ на погодження територіальним органам Державної служби України з питань праці за аналогією з погодженням проектів розробки родовищ нафти та газу. Також у Кодексу відсутні умови повернення СПВ до підземних горизонтів газосховищ, які виносяться на поверхню під час відбору газу, які необхідно повертати до підземних горизонтів по аналогії із СПВ нафтогазових родовищ.

При чому, що всі проекти про провадження планованої діяльності з видобування нафти та природного газу, глибокого буріння, видобування прісних підземних вод у відповідності до вимог Закону України “Про оцінку впливу на довкілля” проходять процедуру з оцінки впливу на довкілля та отримують позитивні висновки, у яких оцінюється вплив проектної діяльності як допустимий.

В Україні має місце значна зарегульованість бізнесу. Так згідно оприлюднених даних наша країна посіла 143-тє місце серед 165 країн у рейтингу «Економічна свобода у світі 2025», опублікованому 25 вересня Fraser Institute спільно з Центром Бендुकідзе. Порівняно з минулим роком країна піднялася з 150-ї позиції, але залишається серед економічно невільних держав.

Авторами розроблено пропозиції щодо внесення відповідних змін до Кодексу у частині зменшення адміністративного тиску на бізнес, спрощення процедури отримання дозволу на спецводокористування та погодження технологічних проектів на повернення СПВ до підземних горизонтів, що дозволить суб'єктам господарювання, які здійснюють буріння нафтогазових свердловин та видобування вуглеводнів, наростити їх видобуток і сприяти енергетичній незалежності держави.

Цим законопроектом проектом акта пропонується внести зміни у визначення строків водокористування, а саме:

тимчасове водокористування - терміном до одного року;

короткострокове водокористування – три роки;

довгострокове водокористування - від шести до дванадцяти років.

При цьому передбачається, що:

на тимчасові водозабори дозвіл не отримується, а діяльність проваджується за декларативним принципом;

на короткострокові водозабори (ті що отримуються вперше або здійснюється скид стоків безпосередньо у водний об'єкт) видається один загальний дозвіл на всі водозабори, або окремо на кожен водозбір за заявою суб'єкта господарювання;

довгостроковий дозвіл спеціального водокористування згідно із заявою водокористувача може видаватися на один водозбір або на всі водозабори суб'єкта господарювання в межах однієї адміністративно-територіальної одиниці чи басейнового управління.

Запропоновані зміни до Водного кодексу України обґрунтовані тим, що практика застосування пункту 22 статті 11 Закону України "Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності", яка дозволяє у період дії воєнного стану здійснення певних видів господарської діяльності на підставі подання на безоплатній основі до відповідних дозвільних органів декларації про провадження господарської діяльності без отримання документів дозвільного характеру, показала позитивний ефект у зниженні регуляторного тиску.

В квітні 2025 року Уряд України, ухвалив низку рішень та скасував понад 200 інструментів державного регулювання у зв'язку з запровадженою реформою дерегуляції..

У даному контексті, реалізація норм законопроекту, дозволить спростити процедуру оформлення незначного/короткострокового спеціального водокористування (до 50,0 кубічних метрів на добу з водного об'єкта, терміном до дванадцяти місяців).

Також, даним законопроектом пропонується вирішення питання правової прогалини щодо відсутні умови повернення супутньо-пластових вод (далі – СПВ) підземних горизонтів газосховищ.

В роботі використані матеріали з порталу електронних послуг Державного агентства водних ресурсів України (<https://e-services.davr.gov.ua/>) та особисті дослідження авторів.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ БІОХІМІЧНИМ ОЧИЩЕННЯМ СТІЧНИХ ВОД

¹Національний транспортний університет
вул. Михайла Омеляновича – Павленка, 1, Київ, Україна; aodi@ukr.net

²Таврійський національний університет імені В.І.Вернадського
вул. Джона Маккейна, 33, Київ, Україна

Abstract. The operation of municipal wastewater treatment plants is carried out under conditions of limited, incomplete, and imprecise information, which affects the efficiency of treatment processes both in terms of effluent quality and resource and energy consumption. Such uncertainty arises from the fact that the quality parameters of influent wastewater are generally not determined online and, moreover, certain averaged data are used. Under these circumstances, control actions aimed at achieving effective management may become inadequate to the current situation, creating a risk of losing control over the treatment processes.

Ефективне керування якістю біохімічного очищення стічних вод потребує не лише якісного апаратного забезпечення, а й чітко продуманої логіки збору, обробки та аналізу даних із відповідною реакцією системи на зміну стану процесу. Система інтелектуального керування якістю очищення виконує низку автоматизованих дій з урахуванням показників стану процесу. Це дозволяє досягти оптимального та стабільного процесу біотрансформації поліутантів без постійного втручання користувача.

Багаторівнева система автоматичного контролю параметрів стану системи поєднує сенсорну мережу, механізми обробки даних на мікроконтролері та алгоритми прийняття рішень для активного регулювання процесу. У такій системі реалізується інтелектуальний підхід до збору даних ефективності процесу з використанням різних спеціалізованих датчиків (рис. 1).

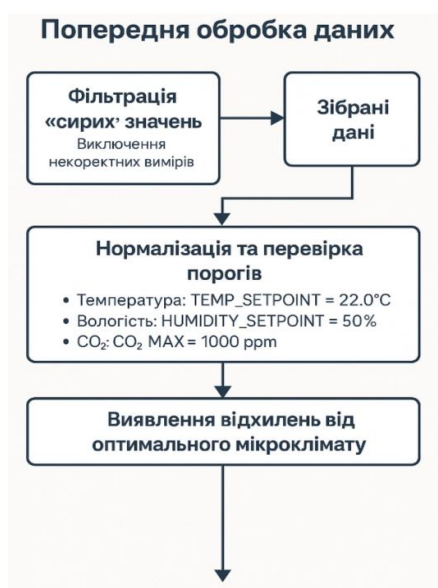


Fig. 1 Попередня обробка даних

Кожен з елементів інтелектуальної системи збору інформації виконує окрему функцію, що дозволяє формувати повну картину стану системи та реагувати на зміни в режимі реального часу. Відповідні сенсори забезпечують моніторинг ключових параметрів. Після отримання інформації з датчиків, система не передає її безпосередньо на модуль керування. Перед цим дані проходять кілька етапів попередньої обробки, мета яких — забезпечити коректність, стабільність і достовірність значень, що використовуються для подальшого аналізу й прийняття рішень.

ПЯТИШКІНА П.Д.¹, БОЛЬШАНИНА С.Б.¹, РАЗІНЬКОВА Е.Е.²,
ІВЧЕНКО В.Д.² (УКРАЇНА, СУМИ)

БІОСОРБЕНТ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ ТА НІТРИФІКУЮЧИХ БАКТЕРІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК АМОНІЮ

¹ Сумський державний університет

40007, вул. Харківська, 116, Суми, Україна; info@sumdu.edu.ua

² Сумський національний аграрний університет

40021, вул. Герасима Кондратьєва, 160, Суми, Україна; admin@snau.edu.ua

Abstract. Water contamination by ammonium ions is a serious environmental problem linked to agricultural runoff and animal waste. In this work, a composite biosorbent was developed using kaolin, nitrifying bacteria from «Evogen Clarity Pond» and sodium alginate. The material combines adsorption, biosorption, and biodegradation processes. Its efficiency was tested using colorimetric method, which demonstrated an effective ammonium reduction over 21 days. Compared with the unmodified biopreparation, the composite demonstrated better water clarity and odor control. This approach shows promise as an eco-friendly method for water purification.

Завдання вдосконалення методів очищення води є вкрай актуальним сьогодні. Серед основних забруднювачів особливе значення має азот, підвищення вмісту якого в природних водах здебільшого спричинене сільськогосподарськими стоками. Наслідками такого забруднення є цвітіння водойм, замор риби, поява неприємних запахів і зміна кольору води.

Біосорбція — це фізико-хімічний процес, під час якого біомаса природним чином утримує та концентрує забруднювачі на своїй клітинній поверхні. Цей простий, але чутливий метод є високоефективним, екологічно безпечним та економічно вигідним рішенням для видалення токсичних речовин із забруднених вод [1]. Ефективність біосорбції визначається комплексом факторів, пов'язаних як із властивостями самого біосорбенту, так і з умовами середовища. Серед них: природа функціональних груп, питома площа поверхні, дозування та хімічна стабільність біосорбенту, а також зовнішні параметри, включаючи водневий показник (рН), температуру, концентрацію забруднювачів та присутність конкурентних іонів.

Надлишок азоту видаляється з води через двоетапний біологічний процес, що включає нітрифікацію та денітрифікацію. Нітрифікація є аеробним окисненням аміаку та нітритів до нітратів. Натомість денітрифікація відбувається в анаеробних умовах і полягає у відновленні нітратів до газоподібного азоту або оксидів нітрогену. Ці стадії вимагають участі специфічних функціональних бактерій, відомих як нітрифікуючі, наприклад, *Nitrosococcus* sp., *Nitrosomonas* sp., *Nitrospira* sp., та денітрифікуючі, як-от *Alcaligenes* sp. і *Paracoccus* sp. [2].

У межах дослідження для видалення амонію (NH_4^+) з води був розроблений біоадсорбент на основі каоліну та нітрифікуючих бактерій, що містяться в складі «Evogen Clarity Pond».

Даний біопрепарат є спеціалізованим засобом, призначеним для зниження рівня забруднюючих речовин у водоймах, особливо в тих, де присутні риба або залишкові органічні матеріали, схильні до гниття. Він являє собою сипучий порошок брунатного кольору на дендритному сольовому носії із земляним запахом. Препарат є ефективним у широких діапазонах: рН від 4,0 до 11,0 та температури від 5 до 50°C. Бактерії у його складі енергійно поглинають фосфор, калій, вуглець та азот. Завдяки технології донора кисню, усі штами бацил здатні ефективно функціонувати навіть в анаеробних умовах [3].

Пориста структура глинистого мінералу каоліну, який було обрано носієм для біомаси, створює високу питому поверхню для адсорбції забруднюючих компонентів. Для закріплення бактерій на каоліні та формування гранул ми використали альгінат натрію як додатковий біополімерний зв'язувальний агент. Оптимальний склад композиту: 60–70% каоліну, 20–30% мікроорганізмів з препарату «Evogen Clarity Pond», 5–10% біополімерного зв'язувального агента. Таким чином цей біосорбент поєднує фізичну адсорбцію каоліну з біосорбцією, біоаккумуляцією та біодеградацією бактерій.

Ефективність розробленого біосорбційного композиту оцінювали шляхом порівняння його здатності видаляти іони амонію зі здатністю немодифікованого препарату «Evogen Clarity Pond». Концентрацію амонію визначали фотоколориметрично. Метод заснований на реакції з реактивом Неслера, продукт якої має яскраво-жовте забарвлення. Вимірювання оптичної густини виконували при

$\lambda=440$ нм. Враховуючи мутність розчинів із біопрепаратом, усі проби перед колориметрією попередньо фільтрували. Отримані за калібрувальним графіком значення амонію далі перераховували у масову концентрацію за формулою:

$$C = \frac{C_{\text{гр.}} \cdot k \cdot V_{\text{м.к.}}}{V_{\text{алікв.}}}, \quad (1)$$

де $C_{\text{гр.}}$ – масова концентрація NH_4^+ у розчині, знайдена за допомогою параметрів калібрувального графіка, мг/л; k – ступінь попереднього розбавлення вихідної проби ($k=10$); $V_{\text{м.к.}}$ – об'єм мірної колби (50 мл); $V_{\text{алікв.}}$ – об'єм аликвоти проби (10 мл).

Визначення вмісту амонію проводилося через певні проміжки часу протягом 21 доби експерименту. Згодом було обраховано зміну вмісту амонію в розчинах з композитом та з «Evogen Clarity Pond».

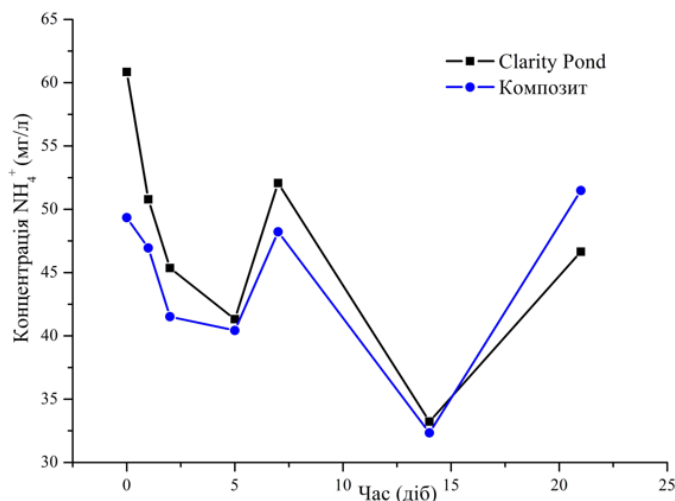


Рис. 1. Кінетика адсорбції іонів амонію біoadсорбентами

Як видно з графіка на рис. 1, усі адсорбенти знижують концентрацію NH_4^+ протягом 5–14 діб. «Evogen Clarity Pond» демонструє менш різке зростання після 14 діб у порівнянні з композитом, що свідчить про кращу стабільність біопрепарату. Підвищення концентрації амонію на 21 добу в обох розчинах вказує на складні внутрішні процеси в представлених біосорбентах. Це може бути наслідком накопичення продуктів метаболізму бактерій, серед яких є нітрит- та нітрат-іони, здатні негативно впливати на діяльність мікроорганізмів.

Слід також зазначити, що розчин із композитом протягом усього періоду залишався прозорим, без запаху та додаткових забруднень, тоді як розчин із біопрепаратом відзначався високою мутністю, характерним запахом застоюваної води та набув зеленувато-жовтого відтінку. Біопрепарат має вищу ефективність, але за органолептичними показниками не переважає композит. Крім того, гранульована форма композиту дозволяє легко видаляти його з розчину та замінювати новими гранулами для безперервної деамоніфікації.

[1] Dey, S., Haripavan, N., Basha, S. R., & Babu, G. V. (2021). Removal of ammonia and nitrates from contaminated water by using solid waste bio-adsorbents. *Current Research in Chemical Biology*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.crchbi.2021.100005>

[2] Zhang, C., Chen, X., Han, M., Li, X., Chang, H., Ren, N., & Ho, S.-H. (2022). Revealing the role of microalgae-bacteria niche for boosting wastewater treatment and energy reclamation in response to temperature. *Environmental Science and Ecotechnology*, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100230>

[3] *Bacteria to improve and maintain the natural balance of water Evogen Clarity Pond • online store Step2Clean.* <https://step2clean.com.ua/en/evogen-clarity-pond/?srsltid=AfmBOoojkvXsOluUJmm-GnscoznI8UdUEjSIxdMflGa4kZFKlfqJahys>

БОРДУН М.І.¹, СОКОЛОВСЬКИЙ Я.І.² (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ РІЧКИ ДНІПРО

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка
79000, вул. Університетська, 1, Львів, Україна; webmaster@lnu.edu.ua

² Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; office@lpnu.ua

Abstract. This paper describes a study that applied Multi-Fractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) to water pollution time series data (BOD) for the Dnipro River. By using MFDFA to set the fractal differentiation parameter for the ARFIMA fractal model, the researchers were able to achieve enhanced prediction accuracy (validated by RMSE and MAPE) compared to the traditional ARIMA model. The findings strongly suggest that integrating multifractal methods improves the forecasting of water pollution.

Забруднення прісноводних річок органічними та мінеральними речовинами є однією з найбільш гострих екологічних проблем світу. Надмірний антропогенний вплив на водні басейни, спричинений у першу чергу скидами побутових та промислових стічних вод, призводить до порушення гомеостазу водних екосистем, деградації біогеохімічних циклів та втрати їхньої екологічної стійкості. Для об'єктивної оцінки ступеня цього впливу та ефективності заходів з охорони водного середовища застосовуються спеціалізовані індикативні показники. Одним із найважливіших та широко використовуваних показників, які характеризують ступінь забруднення води органічними речовинами, є біохімічне споживання кисню (БСК). Цей показник вказує на кількість кисню, необхідну для аеробного біохімічного окислення органічних сполук у воді. І чим вищою є концентрація органічних забруднень у воді, тим більше кисню потрібно мікроорганізмам для їх розкладу, і, відповідно, тим вище значення БСК.

Метою даного дослідження було прогнозування змін БСК на основі даних попередніх вимірювань на прикладі річки Дніпро, що дозволить вчасно попередити виникнення критичних ситуацій із забрудненням водного середовища.

Початкові дані для аналізу були отримані з порталу data.gov.ua і охоплюють період з 2003 року. Ці дані є необробленими вимірюваннями моніторингу річки Дніпро, в межах каналу Дніпро-Донбас. Заміри проводилися приблизно двічі на місяць і містили різноманітні параметри оцінки забруднення. Для цього дослідження ключовою характеристикою забруднення було обрано показник БСК, на основі якого було підготовлено фінальний часовий ряд, що включає 410 замірів.

Для всебічної оцінки ключових характеристик цього часового ряду було проведено його комплексний аналіз. Основна декомпозиція ряду підтвердила наявність чітко вираженого тренду та сезонності, а також виключила гіпотезу про те, що залишки є білим шумом. Аналіз автокореляційної функції (ACF) чітко показав, що значення деяких часових затримок, особливо в межах перших 30 лагів, виходять за межі довірчого інтервалу. Це свідчить про сильну залежність та виражений ефект довгої пам'яті в ряді. Два взаємодоповнюючі статистичні тести, ADF (Augmented Dickey-Fuller) і KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin), однозначно підтвердили, що часовий ряд є нестационарним. Додатково, було проведено оцінку мультифрактальних властивостей за допомогою MFDFA (MultiFractal Detrended Fluctuation Analysis), яка виявила значний ступінь мультифрактальності ряду та встановила, що його структура відносно збалансована щодо різних рівнів волатильності. На основі отриманого показника Херста був виділений параметр фрактального диференціювання (d) для подальшого моделювання.

Для вибору оптимальної фрактальної моделі ARFIMA (AutoRegressive Fractionally Integrated Moving Average) ряд спершу було фрактально диференційовано. Цей крок був необхідний для повної нейтралізації впливу тренду та сезонності. Потенційні значення порядків $AR(p)$ та $MA(q)$ були попередньо визначені за графіками ACF та PACF диференційованого ряду. Фінальний вибір оптимальної моделі ARFIMA здійснювався шляхом оцінки помилки RMSE на тестових даних, при цьому критичний показник фрактального диференціювання (d) був попередньо розрахований методом MFDFA.

Експериментальне порівняння різних обсягів тренувальних і тестових даних остаточно підтвердило, що отримана фрактальна модель ARFIMA забезпечує кращі результати прогнозування забруднення Дніпра порівняно з традиційними моделями ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) та ARFIMA. Ця перевага була зафіксована за оцінками похибок RMSE та MAPE, що підкреслює ефективність моделі, особливо для аналізу нестационарних рядів з вираженою довгою пам'яттю.

MASIKEYVYCH Yu.G., MASIKEYVYCH A.Yu., BURDENYUK I.P. (UKRAINE, CHERNIVTSI)

**INITIATION OF MONITORING OF THE DNISTER RIVER WATER AREA
ACCORDING TO THE DATA OF MICROBIOLOGICAL RESEARCH WITHIN THE
TERRITORY OF THE PROTECTED AREAS**

Bukovynian State Medical University

58002, Theater Square, 2, Chernivtsi, Ukraine; yumasik1957@bsmu.edu.ua

Abstract. The study was initiated in 2022 in the Dniester River water area within the Khotynskyi National Nature Park. Water sampling was carried out at six points in the spring-summer and autumn-winter periods of the year. The analysis of the selected water samples was carried out in the microbiological laboratory of the Department of Microbiology, Virology and Immunology of the Bukovynian State Medical University in accordance with the Agreement on Cooperation between the Medical University and the National Natural Park (NPP).

The results obtained by us in the course of the conducted research indicate that downstream of the Dniester River, within the Khotynskyi NNP, the content of suspended solids and nitrates in the water significantly increases. The increase in the content of suspended solids is accompanied by a corresponding decrease in free oxygen in the water and an increase in the values of BOC (biochemical oxygen consumption), ChOC (chemical oxygen consumption) indicators by 3-3.5 times higher than the norms of SanPiN 4360-88. The increase in organic and mineral pollution of surface waters. A direct correlation ($r=0.95$) was established between the BOC, ChOC indicators and the values of microbiological indicators obtained by us earlier.

There is no doubt that microbiological indicators are one of the most sensitive indicators of fecal pollution and water quality. However, the use of these indicators for monitoring the state of surface waters of river basins of Ukraine has not yet been properly applied. We have made the first attempt to initiate monitoring studies of the Dniester River based on the analysis of microbiological pollution of its waters. The Dniester River water area within the Khotyn National Nature Park was chosen as a reference. Water samples for analysis were taken upstream, according to standard methods, at six points of the Dniester River water area from point No. 1 in the area of the village of Ozhevo ($48^{\circ}33'24.0''$ N; $27^{\circ}28'18.8''$ E) and to point No. 6 in the area of the village of Rukhotyn ($48^{\circ}31'28.3''$ N; $26^{\circ}11'56.1''$ E) along the coastline of the NPP. The content of the following microbiological indicators in surface waters was studied: total microbial count (including the number of thermophilic bacteria), coli index and coli titer. Lactose-positive *E. coli*, indicators "coli index" and "coli titer" are widely used as an indicator of possible fecal contamination.

The results obtained indicate an increase in microbiological contamination downstream of the Dniester River within the NPP "Khotynskyi". This is especially observed in the area of the city of Khotyn. Thus, according to the results of spring-summer expeditions, the excess of the adopted Standards in point 5 (the area of the village of Gordivtsi to the territory of the city of Khotyn) was within 1.5-2 times, and after the city of Khotyn (point 4) – 5-6 times. Significant microbiological water pollution is also observed in the area of the dachas of the village of Hrushivtsi (item 2). The minimum value (less than the norms of the existing Standards) occurs in the area of the mouth of the Surzh River (item 3), which can be explained by the dilution of discharges in the Surzh River basin. The conducted studies indicate a significant level of microbiological pollution of the waters of the Dniester River in areas of urbanized areas and places of anthropogenic load within the Khotynskyi National Park.

During the period between two water intakes (spring-summer and autumn-winter, about 6 months), the number of bacteria of the *Escherichia coli* group (*E. coli*) increased from 3-5 times (the upper sampling point in the area of the village of Rukhotyn - point 6) to 10-12 times (area of the village of Anadoly - point 4), and more than 20 times (mouth of the Surzh River - point 3). Thus, during the summer-autumn period, in all the studied water intake points, the indicators of microbial pollution increased from 3 to 20 times. Moreover, namely, the municipal discharges of the city of Kelmentsi and the city of Khotyn, where the maximum increase in the number of *E. coli* was recorded, also had the maximum increase in the indicator (pathogenic microorganisms) of fecal *E. coli*. The results obtained indicate the need to continue the microbiological studies of the surface waters of the Dniester River within the NNP, which began in 2022 "Khotynskyi" to initiate monitoring of the specified river network, as required by the regulatory documents adopted in Ukraine to implement the requirements of Directive 2006/7/EC.

РИЛЬСЬКИЙ О.Ф.¹, ДОМБРОВСЬКИЙ К.О.¹, ПЕТРУША Ю.Ю.²,
ПРИТУЛА Н.М.¹ (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

УГРУПОВАННЯ ЗООПЕРИФІТОНУ В БІОКОНВЕЄРНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

¹Запорізький національний університет

69011, вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна; znu@znu.edu.ua

²Національний університет «Запорізька політехніка»

69063, вул. Університетська, 64, Запоріжжя, Україна; rector@zp.edu.ua

Abstract. Living organisms, and bacteria in particular, play an essential role in the purification of water contaminated with organic substances. However, significant advances in water purification can be achieved not only with the use of bacteria, but also with the assistance of the wide range of hydrobiont communities, among which the zooperiphyton community deserves special attention. Invertebrates of the zooperiphyton are of particular interest due to their active participation in the transformation of substances and energy in hydrocenoses, and their contribution to the biological purification of water and restoration of its quality. They play a special role in industrial water purification.

При застосуванні сучасних біотехнологій для очищення стічних і поверхневих вод приділяється значна увага гідробіологічним дослідженням, де використовують мікробіоценоз (так званий активний мул) та інші угруповання гідробіонтів. Відомо, що для забезпечення інтенсифікації біологічного очищення стічних вод необхідно в межах самої водної екосистеми підвищити процес самоочищення у штучно створених гідробіоценозах. Для цього в умовах очисних споруд для іммобілізації (прикріплення) мікробіоти та інших гідробіонтів використовують різноманітні інертні субстрати та носії (із різних матеріалів, з різною структурою та іншими характеристиками). Їх використання створює умови, аналогічні природним, коли на межі розділу твердої та рідкої фаз розвивається угруповання перифітону.

В Україні останнім часом широко почали використовувати біотехнологію під назвою «біоконвеєр», запропоновану професором П.І. Гвоздяком, де для іммобілізації мікробіоти та гідробіонтів використовують волокнистий носій типу «ВІЯ». Згідно із запропонованою біотехнологією очищення забруднених водних середовищ необхідно проводити постадійно із використанням на різних стадіях різних представників угруповань гідробіонтів.

Суттєве значення у відновленні якості води мають представники різних угруповань тваринних організмів. Відомо, що в біореакторах очищення води за показниками біомаси домінують мікроорганізми (бактерії). Суттєво нижчими кількісними показниками в цих гідробіоценозах представлені найпростіші та інші водні безхребетні, які формують трофічні ланцюги. Роль водних безхребетних в очищенні поверхневих і стічних вод вивчена недостатньо. Дослідження угруповань зооперифітону волокнистого носія типу «ВІЯ» у вітчизняних наукових роботах проводилось фрагментарно. Тому нами були проведені гідробіологічні дослідження зооперифітону волокнистого носія «ВІЯ» при очищенні води поверхневих і стічних вод впродовж 2013–2025 рр.

Організми зооперифітону – це тварини, що мешкають на твердих субстратах (живуть на субстратах, які підняті над донними відкладами водної товщі). Також угруповання зооперифітону розглядають як тваринне угруповання водних безхребетних або обростання.

Зооперифітон волокнистого носія типу «ВІЯ» складався з трьох екологічних груп – протистоперифітону, мікрозооперифітону та макрозооперифітону. Протистоперифітон був представлений трьома таксонами (*Amoebozoa*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*). Мікрозооперифітон складався з 7 таксонів (*Rotatoria*, *Copepoda*, *Cladocera*, *Nematoda*, *Ostracoda*, *Tardigrada*, *Turbellaria*). В макрозооперифітоні зареєстровано також 7 таксонів (*Oligochaeta*, *Hirudinea*, *Gastropoda*, *Arachnida*, *Odonata*, *Chironomidae*, інші *Diptera*).

Дослідження угруповань зооперифітону волокнистого носія типу «ВІЯ» проводили в Запорізькому національному університеті в межах наукових тем: «Біологічна доочистка стічних вод» (НДР №0113U005682); «Моніторинг якості доочищених стічних вод іммобілізованими мікро-гідробіоценозами» (НДР №0117U001631); «Дослідження біодеградації нафтопродуктів іммобілізованими на «ВІЯх» бактеріальною біотою та перифітоном» (НДР №0118U006251). «Біологічне доочищення води, що потрапляє в річку Капустянка» (договір №20/2021/2902); «Біологічне очищення промислових стічних вод іммобілізованими мікроорганізмами та гідробіонтами» (договір №6/16).

ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОЕФЕКТИВНІСТЬ: ДОСВІД ЗЕЛЕНИХ СТАНДАРТІВ

*Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова*

61002, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна; ottobisma@gmail.com

Abstract. The problem of rational water resource management is critical due to growing anthropogenic impact. Traditional engineering approaches require integration with holistic sustainable development tools. Green building standards, such as BREEAM and LEED, offer a flexible framework for this. This research analyzes water management criteria within eight global rating systems, demonstrating their effectiveness. Findings show these standards incorporate diverse criteria, from consumption monitoring to water reuse. The research concludes that this experience is highly relevant for Ukraine and supports the development of a national green building standard.

Проблема очищення і обробки води, переробки осадів, економічних аспектів водопостачання і водовідведення, мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та інших питань раціонального використання водних ресурсів є однією з найактуальніших у сучасному світі. В умовах зростаючого антропогенного навантаження традиційні підходи до проектування водопровідних та водовідвідних систем вимагають не тільки перегляду, а й інтеграції з комплексними інструментами сталого розвитку.

З цією метою особливого значення набуває вивчення та імплементація кращих світових практик, що вже довели свою ефективність та знаходять своє відображення в «зелених» стандартах. Рейтингові системи екологічної сертифікації архітектури, відомі як зелені стандарти, є добровільними інструментами, які комплексно оцінюють архітектурні проекти за їхнім впливом на навколишнє середовище та відповідність принципам сталого розвитку.

На відміну від традиційних нормативних документів (ДБН, ДСТУ), вони пропонують більш гнучкий, цілісний та інноваційний підхід до вирішення екологічних, економічних і соціальних завдань. Враховуючи, що в Україні тема сталого водопостачання та водовідведення стоїть особливо гостро, вивчення підходів, інтегрованих у світові зелені стандарти, набуває важливого значення.

Проблема водопостачання і водовідведення є невід'ємною частиною критеріїв у більшості зелених стандартів. Аналіз восьми світових рейтингових систем, проведений у рамках дисертаційного дослідження автора (BREEAM, LEED, WELL, DGNB, Green Globes, CASBEE, HQE, Minergie – відповідних версій), виявив, що для оцінки водоефективності архітектурних проектів використовуються наступні критерії:

BREEAM: споживання води, моніторинг води виявлення та запобігання витоків води, водозберігаюче обладнання та системи, прогнозування експлуатаційних витрат. LEED: облік води та звітність, мінімальна водоефективність, покращена водоефективність, повторне використання води, облік води та виявлення витоків. WELL: індикатори якості води, якість питної води, базове управління водою, покращена якість води, управління якістю питної води, управління вологістю, гігієнічна підтримка, повторне використання непитної води на місці. Green Globes: внутрішня побутова сантехніка, градирні, котли та системи гарячого водозабезпечення, водосмісні процеси та обладнання, очищення води, альтернативні джерела води, облік, виявлення витоків, іригація. DGNB: потреба у питній воді та обсяг забруднених вод. CASBEE: водозбереження, дощова вода та стічні води. HQE: якість води, зменшення споживання води. Minergie: рекуперація дощової та побутової води.

Висновки. Вивчення підходів до водоефективності, що використовуються у світових зелених стандартах, засвідчує їхню дієвість і відповідність загальній стратегії сталого розвитку. З огляду на це, питання розробки, проектування, експлуатації та оцінювання систем водопостачання й водовідведення доцільно розглядати, спираючись на досвід рейтингових систем сертифікації. Таким чином, розробка національного зеленого стандарту України, яка входить в коло наукових інтересів автора, набуває особливої актуальності.

ТКАЧУК О.А., КІЗЄСВ М.Д., ШЕВЧУК О.В. (УКРАЇНА, РІВНЕ)

ОЦІНКА ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ ТРУБОПРОВОДІВ ЧЕРЕЗ ГІДРАВЛІЧНУ ТОВЩИНУ ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ

Національний університет водного господарства та природокористування
33000, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна; mail@niwmt.edu.ua

Abstract. The paper presents the results of a theoretical analysis of hydraulic regularities of turbulent flows in pipelines with different wall roughness. On this basis, refined analytical dependences are proposed for determining the relative hydraulic thickness of the boundary layer. These dependences describe the distribution of averaged local velocities in the pipeline cross-section, the hydraulic friction coefficients, and the ratio of average to maximum flow velocity. The numerical values of the parameters in the proposed formulas are validated using experimental data.

На основі проведеного поглибленого теоретичного аналізу гідрравлічних закономірностей турбулентних потоків у трубопроводах із різною шорсткістю стінок їхньої внутрішньої поверхні [1÷3] отримано уточнені аналітичні залежності для:

- розподілу осереднених місцевих швидкостей у перетині трубопроводу

$$u = \frac{u_*}{\kappa_o} \cdot \ln \left(1 + \frac{\chi}{b} \right); \quad (1)$$

- коефіцієнтів гідрравлічного тертя

$$\lambda = \frac{8 \cdot \kappa_o^2}{\left[(1+b)^2 \cdot \ln \left(1 + \frac{1}{b} \right) - b - 1,5 \right]^2}, \quad (2)$$

де u_* – динамічна швидкість, м/с; κ_o – коефіцієнт пропорційності, що враховує зміну дотичних напружень і турбулентні пульсації в основному потоці на границі з примежовим шаром; χ – відносна відстань від стінки труби, що дорівнює відношенню лінійної відстані y до радіуса труби r_o : $\chi = y/r_o$; b – відносна гідрравлічна товщина примежового шару, яка є еквівалентом гідрравлічної шорсткості труби.

Величина параметра b залежить від стану внутрішньої поверхні труб і може змінюватись у широких межах (від 0,00001 до 0,0035) залежно від типу і величини шорсткості. Нехтуючи малими складовими у формулі (2) вона набуде спрощеного виду

$$\lambda = \frac{K}{[\ln(b) - 1,5]^2}, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від параметра κ_o : $K = 8 \cdot \kappa_o^2$.

Для параметра b рекомендовано залежність

$$b = \frac{k_w}{Re^\alpha} + \frac{\Delta_w}{d}, \quad (4)$$

де k_w і α – коефіцієнт і показник степені, які залежать від виду і величини шорсткості труб;

Δ_w – гідрравлічна шорсткість труби діаметром d , мм.

Достовірність цих залежностей підтверджена відповідністю достовірним експериментальним даним І.Нікурадзе та Ф.Шевельова для труб із рівномірною зернистою, регулярною та технічною шорсткістю, а також гідрравлічно гладких труб. Величини параметрів у формулах (3) і (4) для труб з певними видами шорсткості наведені у табл. 1, а окремі залежності $\lambda = f(Re)$ – на рис. 1.

Таблиця 1

Значення параметрів K , k_w , α і Δ_w для труб із різними типами шорсткості

№ з/п	Матеріал труб, тип шорсткості		Параметри			
			K	k_w	α	Δ_w , мм
1	Нові сталеві труби без стиків заводського виготовлення		1,72	1,15	1,0	0,0018
2	Нові чавунні труби заводського виготовлення стандартних довжин		1,22	22,0	1,0	0,022
3	Труби з піщаною шорсткістю	крупністю 0,5 мм	2,06	-2,3	1,0	0,01
		крупністю 1,0 мм	2,3	-2,3	1,0	0,014
4	Труби з регулярною шорсткістю різних типів		1,34	4,0÷50	1,0	0,01÷0,18
5	Гідрравлічно гладкі труби		1,0	1,0	0,78	0
			1,64	1,54	1,0	0
6	Труби з рівномірною піщаною шорсткістю (відповідно формулі Кольбрука-Уайта)		1,34	1,2	0,9	0,029
			1,38	2,75	1,0	0,027

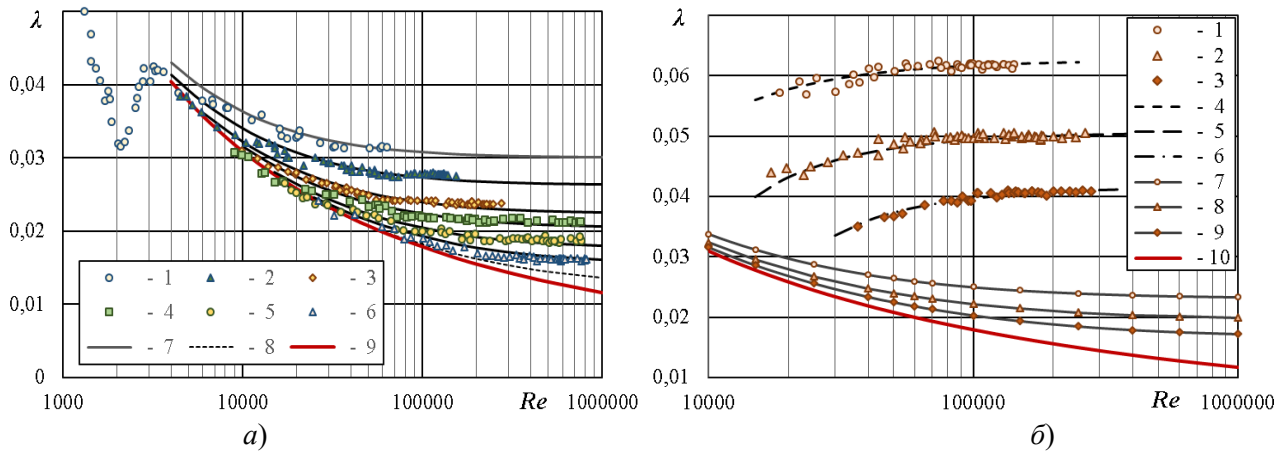


Рис. 1. Залежності $\lambda = f(Re, \Delta_w/d)$ для: а) нових сталевих труб без стиків: 1÷6 – експериментальні дані для $d=15,55; 26,2; 52,4; 78,5; 155,1; 302,0$ мм; 7 – за формулами (3) і (4) цих діаметрів; 8 – для $d=1000$ мм 9 – для гідравлічно гладких труб; б) труб з піщаною шорсткістю: 1÷3 – експериментальні дані для труб $d=26,9; 52,7$ і $105,4$ мм із піщаною шорсткістю з крупністю піску $\Delta=1,0$ мм; 4÷6 – за формулами (3) і (4) для цих труб; 7÷9 – те ж, для нових труб вказаних діаметрів без піщаної шорсткості; 10 – для гідравлічно гладких труб

Наведені дані вказують на універсальність формул (2) і (3) для різних типів шорсткості труб. При цьому похибки між величинами коефіцієнтів гідравлічного тертя λ , визначеними за «повною» формулою (2) та її скороченим варіантом (3) для величин $b = 0,00001 \div 0,001$ становлять $0,004 \div 0,4$ %. Величина показника степені α для різних типів труб може бути прийнятою рівною 1,0. Однак, для гідравлічно гладких труб і труб з рівномірною піщаною шорсткістю дещо краще наближення до експериментальних даних, отриманих І. Нікурадзе, має місце при $\alpha < 1,0$. Величина відносної гідравлічної товщини прилежого шару b може бути визначена за експериментальними даними залежностей $\lambda = f(Re, \Delta_w/d)$ або співвідношення середньої швидкості потоку V_o до максимальної U_m (рис. 2).

$$\frac{V_o}{U_m} = \frac{(1+b)^2 \cdot \ln\left(1 + \frac{1}{b}\right) - b - 1,5}{\ln\left(1 + \frac{1}{b}\right)}. \quad (5)$$

$$\text{або} \quad \frac{V_o}{U_m} \cong 1 + \frac{1,5}{\ln(b)}. \quad (6)$$

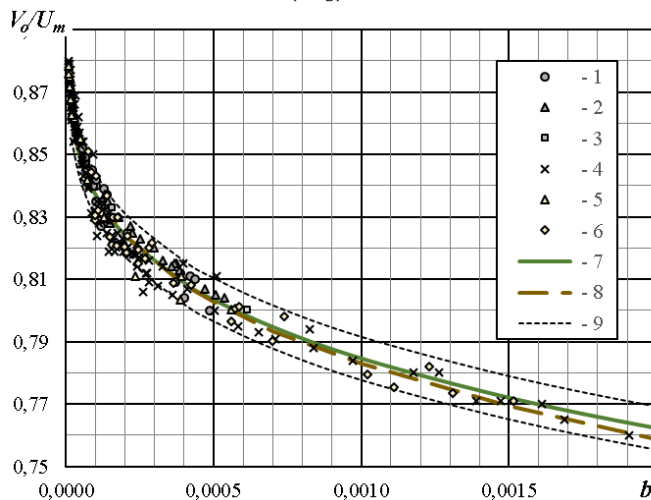


Рис. 2. Залежності $\bar{V}_o/U_m = f(b)$:

1 – експериментальні точки, отримані Ф. Шевельовим, для нових сталевих труб без стиків $d = 16 \div 302$ мм за епіюрами швидкостей; 2 – те ж, для нових чавунних труб $d = 52 \div 301$ мм; 3 – те ж, для труб $d = 52,4$ мм із регулярною шорсткістю; 4 – для гідравлічно гладких труб, отриманих І. Нікурадзе за замірами V_o і U_m для $d = 10 \div 100$ мм; 5 – те ж, за замірами розподілу швидкостей потоків; 6 – те ж, для труб з

Очевидним є факт знаходження і експериментальних даних і розрахункових значень за формулами (5) і (6) у межах довірчих інтервалів 5% рівня значимості. Це дозволяє визначати величини b як за експериментальними даними, так і за формулою (4).

[1] Ткачук, О. (2025). Вплив параметрів прилежого шару на гідравлічні опори у трубопроводах. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, (49), с. 74–84. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.74-84>

[2] Ткачук, О., Шевчук, О. (2023). До розвитку гідравлічних закономірностей турбулентних потоків у трубопроводах. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, (42), с. 71–83. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.71-83>

[3] Oleksandr A. Tkachuk, Ievgenii G. Gerasimov, Olha V. Shevchuk. (2023) Theoretical Aspects of Turbulent Flows in Pipeline. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics 70, pp. 141–157. <https://scienco.com/article/10.2478/heem-2023-0010>

АНТОНОВ М.Д., МАЛЬОВАНІЙ М.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА КІЛЬКІСНО-ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ТА СУМІЖНІ СФЕРИ ДІЯЛЬНОСТІ

Національного університету «Львівська Політехніка»

79013, пл.Св.Юра 3/4, 8-й навч. корп.; ezp.dept@lpnu.ua

Abstract. The work is dedicated to the current issue of the impact of climate change on the quantitative and qualitative indicators of water resources, including their accessibility to the population. The aim of the research is to draw attention to the growing problem of access to high-quality water resources and their management in connection with climate change, including as a result of the harmful anthropogenic impact of humanity. The analysis has shown that changes in climate indicators, global warming, ecosystem pollution, and inefficient management have led to catastrophic consequences in the form of a shortage of high-quality water resources and local conflicts due to their uneven distribution.

Одним з найбільш шкідливих наслідків глобальних змін клімату є тенденція до деградації системи водних ресурсів в цілому. Проблема стосується загалом як кількісно-якісного показнику водних ресурсів, зокрема прісної води, на планеті та в окремих регіонах, так і супутніх сфер діяльності людини як економіка, енергетика тощо.

Результати аналізу актуальних досліджень, опублікованих за останні 20 років, що піднімають тему впливу зміни клімату на управління водними ресурсами, формування стратегій пом'якшення наслідків та адаптації, вказують на зростаючу стурбованість дефіцитом прісної води, спричиненим зміною клімату, та підкреслюють нагальну потребу в єдиній глобальній відповіді. При цьому, висновки огляду практичної імплементації сучасних рішень також свідчать про те, що управління водними ресурсами досі залишається складним завданням, яке вимагає співпраці між науковцями, політиками та місцевим населенням, а також інституційного потенціалу для вирішення проблем, пов'язаних зі змінами у водозабезпеченні та пов'язаними з цим ризиками [1].

Підсумовуючи поточний стан змін клімату та проблеми у сфері водних ресурсів, можна виокремити наступні деструктивні чинники:

1. Глобальне потепління: за даними Організації Об'єднаних Націй, замість обмеження глобального потепління на рівні до 1,5°C в рамках Паризької угоди 2015 року, нині світ перебуває на шляху до потепління на рівні 5 3,2°C до 2100 року в результаті антропогенного впливу [2]. Це у свою чергу призводить до порушення гідрологічного циклу, у зв'язку з чим змінюється кількість та інтенсивність опадів, прискорюється танення льодовиків (деградація криосфери), збільшується частота посух і паводків, погіршується стан системи підземних вод [3, с. 57-59]. Танення льодовиків у гірських районах, зокрема в Гімалаях, Альпах та Андах, призводить до короткострокового збільшення стоку, але в довгостроковій перспективі – до виснаження джерел прісної води.

2. Забруднення та засолення води посилюється внаслідок зменшення об'єму води в річках і озерах, що ускладнює її природне самоочищення (1/5 світових річкових басейнів зазнає швидких змін площі, покритої легкодоступними поверхневими водами) [4, с. 7], а постійно зростаючий рівень **морів та океанів** спричиняє засолення прибережних прісноводних джерел. Солоність є важливим фактором у морській та прісній воді, і солоність води впливає на рухливості важких металів у відкладеннях і водних товщах. Через відсутність імпульсів солоності та одночасне збільшення стоку, солоність зменшилася в кількох прибережних середовищах. Крім того, було показано, що інтенсивні дощі та повені значно зменшують солоність у відкритому морі.

3. Нерівномірність розподілу водних ресурсів: глобальний попит на воду зріс, тоді як її доступність зменшилася через нераціональне використання та надмірне видобування, що виявилось через недоліки у профільній нормативно-правовій базі та неефективному управлінні водними ресурсами. Через збільшення споживання води у світі, через 10 років знадобиться більше ніж 160% наявної води для задоволення потреб. За даними ІРСС, вже зараз майже 2,2 мільярда людей (кожен четвертий) досі живуть без безпечно керованої питної води [5, с. 38].

4. Зростання населення та інтенсивне сільське господарство підвищують попит на воду, водночас зміни клімату зменшують доступність цього ресурсу.

5. Регіональні конфлікти за ресурси: зростаючий попит на воду та її брак вимагають серйознішої уваги на регіональному та міжнародному рівнях. Це пов'язано не лише з наслідками голоду та смерті, якщо їх не задовольнити, але й з тим, що через її дефіцит можуть виникати конфлікти

всередині країни або за її кордонами, зокрема через те, що регіони, які й раніше мали обмежений доступ до прісної води, сьогодні стикаються з ще більшим дефіцитом [6, с. 6].

На основі аналізу вітчизняної та зарубіжної наукової літератури, можемо дійти висновків про наступні заходи, які покликані поступово вирішувати досліджені вище проблеми:

1. Рациональне управління водними ресурсами, що полягає у впровадженні сучасних систем зрошення, очищення та опріснення, модернізації інфраструктури, зменшенні витрат води в промисловості та побуті, запровадження водозберігаючих технологій;

2. Покращення моніторингу та прогнозування кліматичних змін, зокрема в контексті режиму опадів і водного балансу;

3. Впровадження стандартів та політик адаптації до змін клімату, які включають збереження водно-болотних угідь;

4. Міжнародна співпраця у сфері транскордонного управління водними ресурсами – створення спільних стратегій адаптації до змін клімату, створення програм фінансування, проведення конференцій для актуалізації питань дослідження;

5. Освіта та інформування населення про важливість збереження води й екологічно свідоме споживання;

6. Імплементація штучного інтелекту (ШІ), зокрема шляхом:

а) прогнозування посух, паводків і змін водного балансу на основі супутникових даних та кліматичних трендів;

б) застосування розумних систем управління зрошенням, які оптимізують споживання води в агросекторі в реальному часі;

в) розробки застосунків для моніторингу якості води та виявлення забруднення на ранніх стадіях;

г) автоматизації прийняття рішень у сфері водопостачання (наприклад, перенаправлення та контроль об'ємів споживання);

г) моделювання сценаріїв адаптації – використання ШІ для створення симуляцій наслідків кліматичних змін і вибору оптимальних стратегій дій на рівні регіонів або країн.

[1] Chivambo, J. M. F., Bonde, F., Chichava, I., Abuchir, J., Cuinica, S., & Muhala, V. (2025). Effect of climate change on water resources management: a review of the literature. *Urban, Planning and Transport Research*, 13(1), DOI: <https://doi.org/10.1080/21650020.2025.2504488>

[2] United Nations Environment Programme (2019). *Emissions Gap Report 2019*. UNEP, Nairobi. Retrieved from <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>

[3] Sukanya S, Sabu Joseph (2023). *Chapter 4 - Climate change impacts on water resources: An overview*, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99714-0.00008-X>

[4] Summary Progress Update (2021): SDG 6 — water and sanitation for all. Retrieved from https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021_Version-July-2021a.pdf

[5] United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO), (2023). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender*. Retrieved from <https://data.unicef.org/resources/jmp-report-2023/>

[6] Wondimu Musie, Girma Gonfa (2023). *Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review*. Retrieved from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10405016/pdf/main.pdf>

МАРТИНОВ С.Ю., КЛИМОВ С.В. (УКРАЇНА, РІВНЕ)

ОСОБЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕК ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ ПЛАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ВОДИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Національний університет водного господарства та природокористування
33000, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна; s.v.klimov@nirwm.edu.ua

Abstract. Water Safety Plan (WSP) - is a comprehensive approach to managing water contamination risks in drinking water supply systems, starting at the catchment basin and ending with the end user, aimed at protecting human health. The purpose of this study is to develop approaches to identifying hazards and hazardous events at the initial stage of WSP development for water supply systems. The object of the study is a city in Ivano-Frankivsk region, for which water intake is carried out on the principle of coastal filtration from two rivers, one of which is the Dniester. Possible hazardous events and associated hazards were identified in each part of the water supply system. The research is being conducted as part of the project Climate-Resilient Management for Safe Disinfected and Non-disinfected Water Supply Systems - 101081980 - SafeCREW - Horizon-cl6-2022-zero-pollution-01.

Процедура формування планів забезпечення безпеки води (ПЗБВ) розглядається як системний підхід, спрямований на зниження ризиків поширення забруднень в системі питної води, починаючи з водозбірної басейну та закінчуючи у кінцевого користувача, щоб захистити здоров'я людей і значно зменшити потенційні небезпеки у всій системі питного водопостачання (World Health Organization, 2023). Об'єктом наших досліджень є місто в Івано-Франківській області з добовою продуктивністю до 1000 м³/добу, для якого водозбір здійснюється за принципом берегової фільтрації з двох річок, одна з яких Дністер. Площа водозбірної басейну більш чистої річки менше 1500 км², а Дністра 14700 км².

На етапі розробки ПЗБВ визначаються 10 основних модулів. Сформована в модулі 1 група з ПЗБВ на основі опису системи (модуль 2) та залученням основних стейкхолдерів приступає до модуля 3 - виявлення небезпек і небезпечних подій. Формується база знань для всіх наступних кроків управління ризиками. Чітка ідентифікація небезпек і подій необхідні для ранжування ризиків, вибору контрольних заходів та моніторингу. Важливим є врахування особливостей конкретної системи водопостачання: небезпек, що стосується кількості води, доступної користувачам (К); мікробіологічні небезпеки (М); небезпеки, що стосується прийнятності води на смак, колір, вигляд (П); забруднення радіонуклідами (Р); забруднення хімічно небезпечними речовинами (Х). Ідентифікація небезпек – це місток між описом системи та оцінкою ризиків. Централізована схема водопостачання наведена на рис. 1.

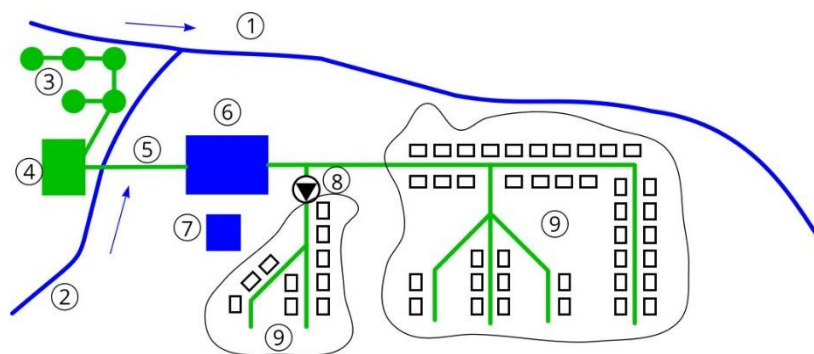


Рис. 1. Схема водопостачання: 1 – р. Дністер; 2 – притока р. Дністер; 3 – водозабірні свердловини; 4 – камера переключення та вузол обліку води; 5 – збірний водопровід; 6 – резервуари чистої води; 7 – вузол дозування дезінфектанту; 8 – підвищувальний насос; 9 – населений пункт (місто).

Для окреслення небезпечних подій рекомендоване формулювання: X відбувається через (те, що) Y, де X – вплив на систему водопостачання, а Y – причина такого впливу. Для оцінки ризиків використовується напівкількісний підхід (Semi-quantitative approach) з формуванням матриці ризиків (5×5). Можливі небезпечні події та пов'язані з ними небезпеки були визначені в кожній частині системи водопостачання: водозбір, система знезараження (водоочищення не проводиться), розподільна мережа, а також враховано фінансові фактори та вплив війни.

WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISPOSAL

Наступний крок - валідація наявних заходів із контролю та оцінювання ризиків (модуль 4). В наведеній нижче таблиці оцінювання ризиків (без оцінки ефективності заходів контролю) наведено кілька (всього встановлено більше 20) як специфічних об'єктових, так і типових для систем водопостачання міст України небезпечних подій та оцінка рівня їх ризику (табл.1). Застосовано одноетапний підхід, тому в табл. 1 наведено рівні ризиків із врахуванням наявних заходів з контролю та ефективність цих заходів.

Таблиця 1

Таблиця оцінювання ризиків (М та Н рівні, скорочено)

Небезпечна подія	Тип небезпеки	Ймовірність	Тяжкість	Оцінка ризику	Рівень ризику
Інтенсивний розвиток мікробних забруднень у теплу пору року у річці (X) та подальше їх потрапляння у водозабірні свердловини (Y).	М	2	4	8	М
Кольматація прифільтрових зон свердловини (X), що викликає підвищення гідравлічного опору (Y).	К, Н	2	3	6	М
Перебої в електропостачанні водозабору (X), що може привести до зупинки подачі води споживачам (Y).	К, X, М, Н	4	3	12	М
Замерзання збірного водопроводу (X), який подає воду в резервуари, що може привести до спорожнення резервуарів (X).	К	2	3	6	М
Незадовільна експлуатація резервуарів (несвоєчасні промивання та дезінфекція) підвищує ризики мікробного забруднення води в резервуарі та подальшого розповсюдження забруднень у водопровідній мережі.	М, X	5	3	15	Н
Критична нестача оборотних коштів водоканалу, що призведе до відключення водозабору від електропостачання та критичному недовиконанню планово-попереджувальних та аварійних робіт, що викличе зниження подавання води в потрібній кількості та потрібної якості або тривалу зупинку подавання води споживачам.	П, К	5	4	20	Н
Ураження повітряними засобами критичних елементів системи водопостачання, що може привести до довготривалої зупинки подачі води споживачам.	П, К	3	4	12	М

Рівні ризику: Low – низький, (ймовірність × тяжкість ≤5); Medium – середній (6-14); High – високий (≥15).

З проведеного аналізу головними пріоритетами щодо вдосконалення мають бути не технічні ризики, а фінансові. Неадекватні тарифи та критична нестача оборотних коштів можуть швидко привести до відключення електроживлення, зупинки робіт та системного погіршення подачі води. Тобто фінансова неспроможність є каталізатором інших технічних ризиків. Технічні ризики середнього рівня (М), як мікробне забруднення (упродовж 2024-2025 рр. було проведено 774 вимірювань по 9 показниках в рамках проекту Climate-Resilient Management for Safe Disinfected and Non-disinfected Water Supply Systems - SafeCREW), хімічне забруднення (2956 вимірів по 28 показниках), кольматація, перебої електроенергії, замерзання, повітряні удари – серйозні, але керовані за допомогою технічних заходів та процедур. Тому першочергове завдання – запобігти сценарію, коли брак грошей робить неможливими прості профілактичні заходи або відновлення після аварії.

World Health Organization. (2023). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/366148>

POLIAKOV V.¹ (UKRAINE, KYIV), MARTYNOV S.² (UKRAINE, RIVNE)

ON THE INTENSIFICATION OF IRON REMOVAL FROM DEEP GROUNDWATER USING RAPID FILTERS

¹ *National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, 8/4 Maria Kapnist Street, vpoliakov.ihm@gmail.com*
² *National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, 11 Soborna Street, s.y.martynov@nuwm.edu.ua*

Abstract. The main ways to improve the efficiency of iron removal from groundwater using a rapid filter are described. The influence of the main design parameters, primarily the height of the filter bed, on the cost of removing excess iron is analyzed. A significant effect has been noted when varying these parameters.

Physical and chemical iron removal from groundwater is widely used in Ukraine due to its high iron content and the shortage of surface water in a number of regions. The iron content in aquifers often significantly exceeds the established standards, posing a threat to human health. The high demand for drinking water makes it necessary to treat large volumes of contaminated groundwater in a short time. Therefore, especially in rural areas with limited water supplies in watercourses and reservoirs, it is necessary to use specialized rapid filters that allow excess iron to be removed quickly and on a large scale. However, the use of such filters can significantly increase the cost of water for the population and the economy, so it is important to achieve the maximum reduction in cost.

There are various ways to achieve this goal, depending on the stage of the technological process. For the preparatory stage, when the appropriate filter (or filter bank) is designed based on the resource and quality of natural water and water supply needs, special attention should be paid to the scientific justification of its design. In fact, it is necessary to establish rational (optimal) values for design parameters, which, on the one hand, can be varied in practice, and on the other hand, the operation of the filters is sensitive to them. Many years of experience in removing suspended and dissolved contaminants by rapid filtration have shown that the following factors have a significant impact on the technological process and, above all, on the quality of water treatment: bed height (L); (equivalent) diameter of filter material elements (grains) (d_g).

Fundamentally, firstly, it is usually not difficult to change the height within a wide range, and at the same time there are often several options for choosing a suitable d_g , and secondly, it is possible to significantly reduce the cost of water treatment by optimizing the parameters L , d_g . In the case of iron removal from natural waters, the basis for the formal procedure for establishing their rational values should be a technological and economic analysis of the operation of a rapid filter. To carry out such an analysis, it is necessary to have:

- initial information for mathematical modeling and calculations of the technological process,
- calculation tool (a set of reliable dependencies for determining key filtration characteristics),
- a set of economic indicators characterizing the main expenses.

As a result of many years of research conducted using experimental and theoretical methods at the NUWEE and the IGM NASU, a significant amount of factual material has been accumulated regarding the composition of contaminants, the nature of their transformation, and the results of filtration. Based on this material, conceptual and mathematical models of iron removal from groundwater in the absence of hydraulic connection with the atmosphere and surface water sources have been developed, which reflect the presence of two forms of iron (ferric and ferrous) in them, the oxidation of the former and the deposition of the latter under conditions of vertical convective transport [1]. It was precisely the rigorous solution of the relevant mathematical problem that served as the basis for the subsequent study of the economics of the technological process with a targeted change in L , d_g . In this case, the subject of the calculations was the reduced (capital and operating) expenses RC [2, 3], and the purpose of the calculations was to obtain specific values of the indicated parameters at which the quantity RC was minimal.

The reaction of expenses to simultaneous changes (constant filter run) and the results of calculations of sets of conditional minimums (each corresponding to a specific value L or t_{f0}) are indicative. To increase the accuracy of calculations of RC_m , numerous variants were calculated. Each of them corresponded to a specific pair of values L_i , t_{f0j} ($i=1,2,\dots,I$; $j=1,2,\dots,J$). The array of RC values is presented as a set of functions $RC(L; t_{f0j})$ and $RC(t_{f0}; L_i)$ in Figs. 1 and 2. It follows that the value RC_{mm} (denoting the smallest value of all RC_m values calculated in this series of variants) according to Fig. 1 is equal to 0.105 and corresponds to the optimal $L_{opt}=0.83$ m, $t_{f0m}=24$ h. Similarly, it is evident from Fig. 2 that $RC_{mm}=0.118$ and at the same time $L_{opt}=0.91$ m, $t_{f0m}=22$ h. Now, for a preliminary assessment of the desired absolute optima, it is permissible to

identify them with the averages of the above pairs of values RC_{mm} , L_{opt} , t_{f0m} . Consequently $RC_M \approx 0.111$, $L_{OPT} = 0.87$ m, $t_{f0M} = 23$ h. Although these purely approximate values may differ from the true values, and quite significantly. It is worth noting the significant differences in the position and shape of the calculated curves in Fig. 2 when discrete changes in L within realistic limits, and especially in the case of $L < 1$ m.

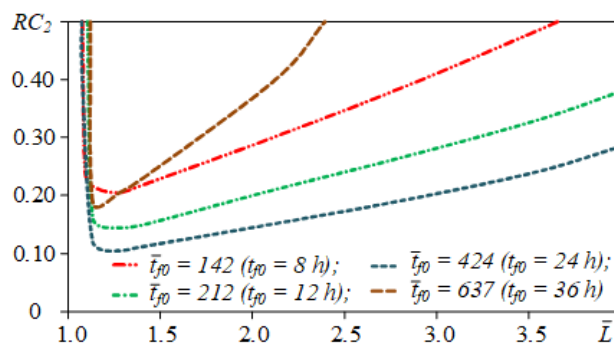


Fig. 1. Dependence $RC(\bar{L})$

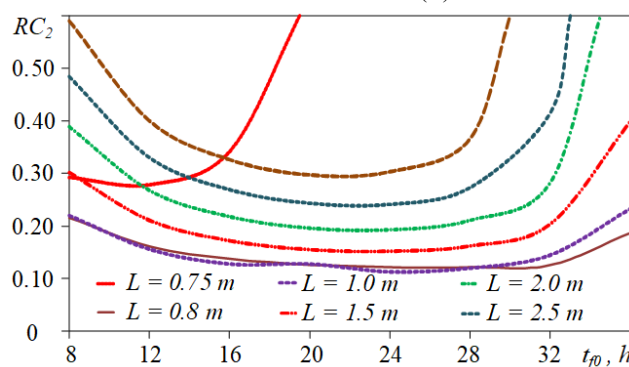


Fig. 2. Dependence $RC(t_{f0})$

Another way to intensify the process of purifying water with high iron content is implemented on existing filters and consists in the use of rational algorithms to control them. Three algorithms commonly used in practice were considered:

- irregular (with decreasing filter run duration t_f),
- regular (with a fixed run duration t_{f0}),
- combined (with several sequences of filter run of equal duration).

As a result, it was established that an unreasonable choice of design parameters and filter control algorithm can lead not only to a significant increase in the cost of filtrate, but also to complete filter failure, when even during the treatment of the first portion of contaminated water it is not possible to reduce the iron content to the required level. Therefore, given the diversity of natural and technological conditions, it is not enough to rely on accumulated experience; it is necessary to conduct a full-fledged substantiation of design and technological parameters using mathematical modeling and reliable source information.

So far, detailed studies have been conducted for moderate iron concentrations in groundwater, which are most common in nature. In the future, we plan to extend our research to heavily polluted groundwater, the treatment and modeling of which is significantly more complicated.

Conclusions. In general, the results of calculations of the main design parameters of rapid filter for iron removal clearly confirm the need for a reliable theoretical substantiation of the technological and design parameters in the physical and chemical treatment of deep groundwater with high iron content.

[1] Martynov S. Yu., Poliakov V. L. Mathematical modeling of physicochemical iron removal from groundwater at rapid filters. Chemical Engineering Science, 2021. Vol. 231, 116318, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116318>

[2] Поляков В. Л., Мартинов С. Ю. Техніко-економічне обґрунтування алгоритмів управління фізико-хімічним знезалізненням підземних вод // V Міжнародна науково-технічна конференція Водопостачання і водовідведення: Проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг. 11-13 жовтня 2023, Україна, Львів. С. 70-71.

[3] Poliakov V. L., Martynov S. Yu. Technological modeling of physicochemical removal of iron from deep groundwater // Heliyon 9, 2023, Vol. 9 (9), e20202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20202>.USA

SOROKINA K. (UKRAINE, KHARKIV)

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SEASONAL VARIATIONS
IN WATER QUALITY ON THE COAGULANT DOSE**

*O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
17, Chornohlazivska St., Kharkiv, Ukraine, 61002; kbsorokina@ukr.net*

Abstract. The coagulation process of natural waters is highly dependent on a complex set of factors, among which the physicochemical characteristics of the source water, temperature conditions, and seasonal changes play a key role. Challenges to effective coagulation arise every season: in spring due to increased organic content, in summer due to biological contamination, in autumn due to changes in the composition of humic substances, and in winter due to low temperatures.

Coagulation is a crucial stage in the water treatment process, as it ensures the effective removal of suspended particles, colloids, and dissolved organic substances from natural water sources. It is a physicochemical process in which finely dispersed particles, usually stabilized by electrostatic forces, lose their stability, agglomerate and form larger aggregates that are easily removed during subsequent treatment stages. An effective method of coagulation during water treatment involves the interaction of heterogeneous substances that pollute surface waters with reagents introduced into the water during the coagulation process.

Determining the optimal dose of coagulant is a complex technical task that requires consideration of several factors, including the type of coagulant, the quality of the source water, seasonal variations, and extreme weather conditions.

Among the factors that influence coagulant dosage are the following:

- 1) Raw water turbidity is one of the main parameters that determines the coagulant dosage;
- 2) The acid-base balance significantly affects the effectiveness of coagulants. For example, aluminum sulfate is most effective in the pH range of 6.5-7.5, while polyaluminum chloride is effective over a wider range, from pH 5.0 to 9.0. Deviations from the optimal pH value sharply reduce the effectiveness of water purification;
- 3) Water temperature significantly affects the rate of coagulation reactions. When the temperature decreases from 20 °C to 4 °C, the coagulant dose may increase by 30-50 %, which is attributed to the slowdown in coagulant hydrolysis, a decrease in the solubility of hydrolysis products, and a reduction in the mass transfer rate;
- 4) Organic matter content – elevated levels of organic impurities, particularly humic substances, increase the need for coagulants;
- 5) Seasonal characteristics of natural water coagulation:
 - Spring snowmelt is accompanied by a significant influx of organic matter into surface waters. An increase in the content of dissolved organic carbon during this period may necessitate a 40-60 % increase in the coagulant dose;
 - phytoplankton actively develops during the summer, causing pH changes and contributing to secondary pollution. To reduce the biogenic load, it is necessary to increase the doses of oxidant;
 - Water quality in the autumn period is characterized by an increased content of fulvic acids – low-molecular-weight organic compounds that are difficult to coagulate;
 - In winter the efficiency of coagulation is significantly reduced due to the slowdown in floc aggregation. The rate of floc formation decreases, which forces an increase in both the dose of coagulants and the duration of contact between the reagents and water;
 - During floods, water is characterized by extremely high turbidity (sometimes 40-50 times higher than usual) and concentration of suspended solids. Under such conditions, standard coagulant dosages become ineffective; therefore, rapid adaptation of the technological process and the use of combined coagulation methods with subsequent flocculation and sedimentation are required.

Thus, to ensure stable water treatment quality, it is necessary not only to select the type and dose of coagulant correctly, but also to adapt the technological parameters to changes in natural conditions quickly. This requires constant monitoring of water indicators and a flexible coagulation process control system. A rational approach to accounting for seasonal factors enables a reduction in reagent consumption, improved treatment quality, and a reliable water supply throughout the year.

САЛАМАХА І.Ю., ГОРДІЙЧУК Л.М., GERMANOVICH O.M. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВПЛИВ СКИДІВ ЗАБРУДНЕНИХ ЗВОРОТНИХ ВОД ЛОКАЛЬНИХ ВОДОКОРИСТУВАЧІВ НА ЕКОСИСТЕМИ МАЛИХ РІЧОК ЛЬВІВЩИНИ

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

79010, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна; salamakhairyna@ukr.net

Abstract. The article analyzes wastewater and pollutant discharges by major water users in Lviv region during 2022–2024. According to the Ecological Passport, Lvivvodokanal makes the largest contribution to surface water pollution, while other enterprises have much lower discharge volumes. Although certain fluctuations remain, a gradual reduction in wastewater discharges indicates partial effectiveness of treatment facility modernization and the implementation of more sustainable water use technologies.

Водні ресурси є ключовим елементом довкілля та основою життєзабезпечення населення й економіки. Проте інтенсивна урбанізація та промисловий розвиток спричиняють значне антропогенне навантаження на поверхневі води, головним чином через скидання зворотних вод. Стан водних екосистем залежить від ефективності очисних споруд та дотримання екологічних норм водокористувачами.

Львівська область характеризується високим рівнем водогосподарського навантаження, що зумовлено щільністю населення та концентрацією промислових і комунальних об'єктів. Основними забруднювачами виступають підприємства водопостачання та водовідведення. Систематичний моніторинг динаміки скидів дозволяє оцінити ефективність природоохоронних заходів, визначати головні джерела забруднення та розробляти рекомендації щодо покращення роботи очисних споруд. Це особливо важливо в умовах модернізації комунальної інфраструктури та впровадження ресурсозберігаючих технологій.

Метою даного дослідження є аналіз динаміки обсягів скидів та маси забруднюючих речовин основними підприємствами Львівської області у 2022–2024 рр., виявлення домінуючих джерел навантаження на водні об'єкти та оцінка тенденцій у сфері водоочищення.

Скидання зворотних вод є одним із ключових чинників антропогенного навантаження на водні ресурси. Якість поверхневих вод значною мірою залежить від ефективності роботи очисних споруд та екологічної політики підприємств.

Отримані результати свідчать, що у структурі забруднення домінує ЛМКП «Львівводоканал», річний обсяг скидів якого перевищує 100 млн м³. У 2022 р. він становив 103,794 млн м³, у 2023 р. – 107,598 млн м³, у 2024 р. – 102,232 млн м³. Маса забруднюючих речовин у скидах коливалася від 63 859,8 т у 2022 р. до 72 901,14 т у 2024 р., що вказує на нестабільність процесів очищення. КП «Дрогобичводоканал» утримувало рівень скидів на позначці 10–12 млн м³, тоді як маса забруднюючих речовин зросла з 6,399 т у 2022 р. до 8,584 т у 2023 р., а згодом знизилася у 2024 р. Подібна ситуація спостерігається і для КП «Червоноградводоканал», де обсяг скидів залишався на рівні 3–3,5 млн м³, а кількість забруднюючих речовин коливалася в межах 3,4–4,0 тис. т.

Менші підприємства (КП «Стрийводоканал», ТОВ «Трускавецький водоканал», МКП «Новояворівськводоканал», МКП «Сокальводоканал», КП «Радехівське ВКГ» тощо) мають значно нижчі показники: обсяги скидів від 0,3 до 2,0 млн м³ та масу забруднюючих речовин – від 200 до 600 т. Загалом аналіз засвідчив тенденцію до зменшення обсягів скидання у більшості підприємств, що можна пов'язати з модернізацією очисних систем, скороченням виробничих потужностей та впровадженням ощадливих технологій водокористування.

Таким чином, найбільший внесок у забруднення поверхневих вод Львівської області здійснює ЛМКП «Львівводоканал», частка якого є домінуючою серед усіх підприємств. Для КП «Дрогобичводоканал» та КП «Червоноградводоканал» характерні стабільні обсяги скидів при коливаннях маси забруднюючих речовин. Менші підприємства демонструють значно нижчі показники, однак їх сукупний вплив також має екологічне значення. У 2022–2024 рр. простежується тенденція до поступового зниження скидів та маси забруднюючих речовин, що свідчить про позитивні зрушення у сфері водоочищення. Подальше зменшення негативного впливу можливе за умови модернізації застарілих очисних споруд, інтеграції систем моніторингу з державною екоінспекцією та посилення контролю за якістю очищення стічних вод.

RADOMSKA M., YAROKHMEDOVA I. (UKRAINE, KYIV)

**MANAGEMENT OF URBAN BLUE INFRASTRUCTURE:
URBAN RIVERS REVIVAL ISSUES**

State University "Kyiv Aviation Institute"

03058, L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine; m.m.radomskaya@gmail.com

Abstract. The restoration of rivers raises numerous concerns, while providing multiple environmental and social benefits. The key factors to be considered in making decision about the need and specific design of such projects were considered. The multi-criteria evaluation is shown to be necessary to ensure sustainability of the complex system formed around revived rivers.

River revitalization is a complex of measures aimed at restoring natural functions of watercourses. It involves restoring the natural configuration of the riverbed, removing artificial barriers, reconstructing coastal biotopes, returning native species and optimizing the hydrological regime by restoring the connection with the floodplain. The main goals of revitalization are ecological restoration, hydrological optimization and creation of socio-economic benefits. This means restoring natural meanders and aquatic biotopes, improving water quality, stabilizing flows, restoring floodplains, increasing resilience to climate change, and developing recreational areas and ecotourism.

The problem is highly relevant, because degraded rivers lose their ability to self-purify, reduce the level of biodiversity, cause deterioration of the hydrological regime and increase the risks of flooding and bank erosion. Moreover, in cities urban rivers are viewed as elements of climate change adaptation and thus their full-scale presence and functioning are crucial for urban ecosystems well-being and comfort of residents. The topic is currently under consideration in many Ukrainian cities, which have their natural water bodies destroyed by unsustainable urban planning practices.

The implementation of such measures is possible only with interdisciplinary collaboration between scientists, the use of monitoring data, public involvement, and integration with spatial planning and climate adaptation policies. This will ensure the restoration of ecosystems and creates added value for society.

Methods used in the process of river restoration are diverse and combine engineering solutions for the physical restoration of river morphology and bioengineering methods (nature-based solutions to build ecosystem resilience, using natural materials and processes).

Additional task is to harmonize rivers with urban areas to combine recreational needs, eco-corridors, cultural value and business opportunities. A part of the process is also information campaigns and educational activities for local communities and urban residents on the whole. Restoration of rivers opens opportunities for mitigation of habitats fragmentation and thus for protection of biodiversity. At the same time it is a good basis for ecological tourism development and enrichment of school training curricula for local educational establishments.

At the same time a range of issues appear and should be considered using standard methods as multi-criteria evaluation to support the efficient decision making, since such projects will have long-lasting effects and faults are very hard to improve.

Hydrological conditions usually guide appropriate engineering solutions to stabilize river processes, but ecological and environmental status should determine the restoration priorities. Key considerations are water quality, biological indicators, the condition of riparian habitats, the presence of rare species and anthropogenic pressures as well as their dynamics after the project implementation.

Engineering infrastructure can impose constraints, in particular, restored river will possibly complicate local logistics and demand more sophisticated engineering solutions, like additional bridges and crossings. Existing buildings and facilities will be affected by increased humidity and erosive work of the river. Economic issues might be also raised by local businesses, especially if they are to be relocated. Medical issues might also appear, as water bodies could be reservoirs for pests and infections propagation.

Thus, the long-term sustainability of the restored river and its social-economic, engineering and biological system must be in the focus of preliminary analysis and their impacts on the environment must be considered.

ВАСИЙЧУК В.О., КУЧЕРА Я.Й., ГУЛЬКО О.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ, КАЛУШ)

УТИЛІЗАЦІЯ РІДКИХ МАГНІЙХЛОРИДНИХ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІМІНЕРАЛЬНОЇ КАЛІЙНОЇ СИРОВИНИ

НУ «Львівська політехніка», 79013, м. Львів. вул. Степана Бандери, 12, com.centre@lpnu.ua

ДУ «Науково-дослідний і проектний інститут основної хімії», вул. Фабрична, 5а, Калуш,

Україна, 77304, kuchera yaroslav@gmail.com

Abstract. The article addresses the problem of utilization of liquid magnesium chloride waste generated during the processing of polymineral potassium–magnesium raw materials. Technological approaches for their recycling into marketable products, such as magnesium chloride, potassium sulfate, and potassium magnesium sulfate, are proposed.

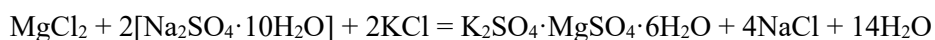
У дослідно-експлуатаційному цеху сульфату калію Калуського калійного комбінату у 1959-1967 роках відхідні розчини знесульфачували розчином кальцію хлориду, фільтрували гіпс і фільтрат випарювали до концентрації близько 38 мас. %, відстоювали виділені солі, розчин охолоджували і кристалізували бішофіт, фільтрували його на центрифугі, затарювали в мішки і відправляли споживачам.

У період від 1967 до 1970 року магнійхлоридні відходи знесульфачували, фільтрували гіпс, фільтрат випарювали спочатку для виділення калію та натрію хлоридів, потім до розплаву в апаратах зануреного горіння і охолоджували на холодній поверхні обертового барабана для кристалізації лусок бішофіту.

Пізніше до 1995 року на базі магнійхлоридних відходів одержували синтетичний карналіт – сировину для електролітичного виробництва магнію. Однак виробництво магнію потужністю 25 тисяч тон за рік утворює супутній продукт – газоподібний хлор у кількості близько сімдесяти тон, збут якого обмежений.

У процесі перероблення полімінеральної калійно-магнієвої сировини на сульфатні калійно-магнієві солі утворюються магнійхлоридні відхідні розчини, які потрібно утилізувати. Закачування їх у підземні поглинаючі горизонти для умов Прикарпаття не раціональне і тому потрібний пошук ефективної технології перероблення на товарні продукти. Такими продуктами є кристалічний магнію хлорид, магнію оксид і гідроксид. Питання утилізації рідких магнійхлоридних відходів є складним у технологічному і екологічному плані. Одним з можливих напрямків використання цих відходів є виробництво алінітового цементу із кальційхлоридною добавкою. Проте, дослідження показали, що під впливом погодних умов на поверхні алінітових зразків з'явилися тріщини і міцність на стиск була недостатньою.

Наступним варіантом утилізації магнійхлоридних відходів калійного виробництва є отримання калімагнезії. Для цього шенітовий розчин після фільтрування шеніту нагрівають до температури близько 80 °С і розчиняють у ньому природний мірабіліт. Відділяють нерозчинений залишок, насичений розчин освітлюють і розчиняють у ньому привозний калій хлорид. Отримують насичений розчин за аналогією із насиченим розчином виробництва калімагнезії заводу калійних добрив. Охолоджують його для кристалізації шеніту за рівнянням реакції:



Після відділення шеніту фільтрат подають на першу стадію випарювання шенітового розчину. Даний спосіб можна використати для виробництва калій сульфату або калімагнезії поблизу родовищ мірабіліту або бішофіту. У випадку відсутності бішофіту доцільним є випуск калій сульфату. Розчин магній хлориду циркулює в процесі і його привозять тільки для компенсування втрат.

Крім цього економічно доцільним є також спосіб, який включає випарювання розчину на другій стадії до концентрації 30-32 % MgCl_2 , фільтрування каїніту, наступне випарювання до концентрації 36-39 % MgCl_2 , відділення осаду і повернення його на другу стадію випарювання, охолодження фільтрату. При цьому кристалізується бішофіт і дрібнодисперсні сульфатні солі. Їх розділяють декантуванням. Розчин із дрібнодисперсною фазою повертають на другу стадію випарювання, а бішофіт фільтрують і одержують продукт із вмістом 44-45 мас. % MgCl_2 , і менше 0,8 % SO_4^{2-} , який можна реалізувати як товарний продукт.

МЕЛЬНИК С.О., ПОПОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА МОНІТОРИНГУ АВАРІЙНИХ СКИДІВ У ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ*Національний університет «Львівська політехніка»**79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; serhii.melnyk.meoes.2024@lpnu.ua*

Abstract. The integration of artificial intelligence (AI) into the detection and monitoring of emergency discharges in surface water bodies significantly improves the speed and accuracy of response to ecological threats. AI-based solutions enable real-time data analysis from sensors, satellites, and monitoring stations, allowing early identification of pollution events, assessment of risks, and prevention of large-scale environmental damage. This paper discusses approaches to AI application in water quality monitoring, outlines advantages and limitations, and emphasizes the importance of intelligent systems for sustainable water resource management.

Інтенсивне антропогенне навантаження на водні ресурси зумовлює високі ризики аварійних скидів у поверхневі водні об'єкти. Традиційні методи моніторингу не завжди забезпечують своєчасне реагування на подібні випадки, адже вони потребують значних людських ресурсів та не здатні оперативно обробляти великі масиви даних. У цьому контексті системи штучного інтелекту (ШІ) пропонують нові можливості для автоматизації, підвищення точності та швидкості виявлення забруднень.

Основні напрями застосування ШІ у виявленні та моніторингу аварійних скидів у водні об'єкти:

● **Обробка даних сенсорів і IoT-пристроїв.** Алгоритми ШІ аналізують показники якості води (рівень рН, концентрацію кисню, вміст токсичних речовин), що дозволяє швидко фіксувати аномальні зміни.

● **Супутниковий моніторинг.** Використання методів комп'ютерного зору дає змогу виявляти забруднені ділянки, нафтові плями чи хімічні витіки на поверхні водойм.

● **Моделювання та прогнозування.** Нейронні мережі прогнозують поширення забруднювальних речовин за течією річок, враховуючи гідрологічні та кліматичні фактори.

● **Системи раннього оповіщення.** Інтелектуальні алгоритми інтегруються у платформи моніторингу для інформування екологічних служб та місцевих громад про потенційну небезпеку.

Таблиця 1

Переваги та виклики застосування ШІ у моніторингу аварійних скидів

Аспект	Переваги	Виклики
Оперативність	Миттєвий аналіз великих обсягів даних та швидке реагування	Залежність від якості вхідних даних
Точність	Здатність виявляти навіть незначні відхилення у параметрах води	Необхідність калібрування та адаптації алгоритмів
Прогнозування	Моделювання сценаріїв поширення забруднень та оцінка ризиків	Висока обчислювальна складність, потреба у сучасній інфраструктурі
Соціальна значимість	Підвищення рівня екологічної безпеки та захист здоров'я населення	Питання доступності даних, етичні та правові аспекти

САДОВИЙ П.В., ПОПОВИЧ О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ГАЛУЗІ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна; petro.sadovyi.meoes.2024@lpnu.ua

Abstract. The increasing water scarcity worldwide highlights the urgency of implementing water-reuse concepts. Countries that have been under high water stress for decades, such as the USA or China, have already reacted at an early stage and introduced appropriate regulations for water reuse to ensure sufficient water quality. Hence, to achieve Goal 6 of the Sustainable Development Goals (SDG), it is essential to exploit all opportunities with respect to reuse water.

Ситуація в усьому світі показує, особливо в часи зміни клімату, що дедалі важливішим є забезпечення надійного водопостачання. Для цього необхідно створювати альтернативні джерела води, щоб вирішити проблему її зростаючого дефіциту, оскільки джерела ґрунтових, поверхневих та дощових вод є недостатніми в багатьох регіонах світу.

Одним з таких альтернативних та сталих ресурсів є повторне використання очищених стічних вод. На відміну від зберігання та використання дощової води, очищені стічні води є цінним ресурсом, оскільки вони доступні щодня та у величезних кількостях.

Ось кілька успішно реалізованих проєктів повторного використання води:

1. Система використання переробленої води в Лонг-Біч (Long Beach, California, USA)

Система оборотного водопостачання Лонг-Біч є хорошим прикладом постачання води повторного використання через автозаправні станції. Стічні води очищуються на водоочисній станції Лонг-Біч, розташованій в східній частині міста, де очищують приблизно 68 мільйонів літрів на день. Знезаражена вода може бути використана для зрошення парків, полів для гольфу, спортивних майданчиків і т.д.. Крім того, її можна використовувати для поповнення басейнів ґрунтових вод. Програма в першу чергу спрямована на підключення системи оборотного водопостачання до нових споживачів та підвищення надійності системи розподілу. З цією метою передбачається будівництво трубопроводів оборотного водопостачання, нових насосних станцій, розширення системи зберігання води та завершення будівництва нових підключень до мережі. Місто також використовує оборотну воду замість питної для очищення вулиць, що щорічно економить мільйони літрів води.

2. Ранчо Ірвайн (California, USA)

Цей приклад демонструє, як повторне використання води було впроваджено у великих масштабах для цілого міста ще в далеких 1960-х роках. Особливістю тогочасного генерального планування міста є те що рослини та дерева повністю зрошуються оборотною водою. Базовою є інтегрована система подвійних труб, завдяки якій питна та оборотна води постачаються окремо. Цілісна мережа фіолетового трубопроводу подачі повторно використаної води сягає довжиною близько 700 кілометрів.

Джерелом непитної води є очищена вода, яка використовується для кількох непитних цілей. Більшість води використовується для зрошення ландшафтів. Система подає до 106 мільйонів літрів на день. Загалом 91% води, необхідної для зрошення ландшафтів, є повторно використаною водою.

3. Повторне використання води в Сінгапурі (Singapore)

У Сінгапурі так звана програма NEWater є частиною комплексної політики водних ресурсів. Ця програма складається з трьох етапів. Етап 1 відомий як мікрофільтрація (MF) або ультрафільтрація (UF). Мікроскопічні частинки та бактерії фільтруються за допомогою мембран. Етап 2 - процес зворотного осмосу (RO). Тому використовується напівпроникна мембрана, яка має дуже маленькі пори, що пропускає лише дуже малі молекули, такі як молекули води. Це запобігає проходженню небажаних забруднювачів, включаючи віруси. Процес ультрафіолетової дезінфекції є третім етапом очищення. Цей процес здатний знищувати бактерії та віруси і служить додатковим заходом безпеки для забезпечення чистоти води. Загалом, повторне використання води покриває до 40 відсотків потреб у воді. Очікується, що до 2060 року цей відсоток зросте до 55 відсотків. Сінгапур використовує очищені стічні води для питних та непитних потреб замість того, щоб скидати їх в океан після очищення.

Підсумовуючи, можна ствердно сказати, що дефіцит води лише наростатиме і без нових концепцій та впроваджень достатнє водопостачання буде під загрозою. Ведеться багато дискусій щодо вартості очищення стічних вод для повторного використання, але їх все частіше можна ігнорувати, оскільки витрати, які виникають, наприклад, з енергетичної точки зору на очищення стічних вод, більше не відіграватимуть ролі за високого рівня водного стресу. У разі високого дефіциту води основна увага приділяється можливості забезпечити воду взагалі.

РИЖУК І.М., ВРОНСЬКА Н.Ю. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ОСОБЛИВОСТІ ПРАВОВОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ЕКОЛОГІЧНІ ПРАВОПОРУШЕННЯ В УКРАЇНІ

Національний університет «Львівська Політехніка»

79013, вул. Степана Бандери 12, Львів, Україна

iryna.turchak.meoek.2024@lpnu.ua

Abstract The article examines the peculiarities of legal liability for environmental offenses in Ukraine. It emphasizes the relevance of the issue in the context of increasing environmental challenges caused by industrialization, urbanization, and growing anthropogenic pressure on natural resources. Special attention is paid to the classification of environmental violations, the system of legal liability measures, and the problems of their practical application. The paper highlights the shortcomings of the current legal regulation and the need to strengthen mechanisms for ensuring environmental protection and sustainable development. The conclusions underline the importance of improving legal instruments, enhancing institutional capacity, and harmonizing Ukrainian legislation with international environmental standards.

Питання охорони навколишнього природного середовища сьогодні є одним із найактуальніших у світі. Україна, як і більшість сучасних держав, перебуває у стані пошуку ефективних шляхів подолання екологічних викликів, що безпосередньо впливають на якість життя громадян та безпеку держави загалом. Зростання рівня техногенного навантаження, активний розвиток промисловості, транспортної інфраструктури, сільського господарства, а також урбанізаційні процеси зумовлюють загрозу виснаження природних ресурсів і деградації екосистем.

В умовах воєнних дій, які відбуваються на території України, екологічні проблеми набули ще більшого масштабу: масові пожежі, забруднення земель та водойм, знищення лісових масивів, витік нафтопродуктів і хімічних речовин. Це створює нові виклики для правової системи та потребує ефективного реагування у вигляді юридичної відповідальності за завдану шкоду.

Правова відповідальність за екологічні правопорушення є різновидом юридичної відповідальності, що має свої специфічні риси. Вона спрямована не лише на покарання правопорушника, але й на відновлення порушених прав громадян, забезпечення екологічної безпеки та компенсацію шкоди, завданої довкіллю.

Відповідно до Конституції України (стаття 50) кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди. Таким чином, екологічні правопорушення порушують не лише норми галузевого законодавства, а й основні конституційні права.

Основні принципи екологічної відповідальності:

- невідворотність покарання за порушення екологічних норм;
- повне відшкодування шкоди довкіллю;
- пріоритет превентивних заходів над каральними;
- поєднання державного контролю та громадського нагляду;
- гармонізація з міжнародними стандартами охорони довкілля.

Згідно із законодавством України, екологічні правопорушення можуть виявлятися у різних сферах:

1. Порушення у сфері охорони атмосферного повітря – незаконні викиди забруднюючих речовин, перевищення встановлених нормативів шкідливих викидів промисловими підприємствами, спалювання відходів у заборонених місцях.

2. Правопорушення у сфері використання водних ресурсів – скидання у водойми неочищених або недостатньо очищених стічних вод, забруднення річок і озер нафтопродуктами, порушення правил водокористування.

3. Правопорушення у сфері земельних відносин – незаконна зміна цільового призначення земель, використання сільськогосподарських земель із порушенням правил, що призводить до ерозії ґрунтів.

4. Лісові правопорушення – незаконна вирубка деревини, знищення лісів пожежами з вини людини, порушення правил відновлення лісових насаджень.

5. Порушення у сфері поводження з відходами – незаконне розміщення відходів, діяльність сміттєзвалищ без спеціальних дозволів, забруднення територій токсичними речовинами.

6. Порушення правил використання надр – незаконний видобуток корисних копалин, знищення ґрунтового покриву, відсутність рекультивації земель після завершення промислової діяльності.

Система юридичної відповідальності за екологічні правопорушення в Україні охоплює чотири основні напрями:

1. Адміністративна відповідальність. Передбачає накладення штрафів, конфіскацію незаконно добутої продукції, тимчасове зупинення діяльності підприємства. Вона є найбільш поширеним видом відповідальності. Приклад: накладення штрафу на підприємство за перевищення рівня викидів у повітря.

2. Кримінальна відповідальність. Встановлюється за найбільш небезпечні правопорушення, які призвели до тяжких наслідків для довкілля або здоров'я людей. У Кримінальному кодексі України (розділ VIII «Злочини проти довкілля») передбачено відповідальність за забруднення атмосферного повітря (ст. 241), порушення правил охорони вод (ст. 242), незаконну порубку лісу (ст. 246), порушення правил екологічної безпеки (ст. 236).

3. Цивільно-правова відповідальність. Зобов'язує правопорушника компенсувати завдану шкоду у повному обсязі. Особливістю є те, що шкода довкіллю має бути відшкодована незалежно від вини суб'єкта, якщо вона настала внаслідок його діяльності.

4. Дисциплінарна відповідальність. Настає для посадових осіб, які у процесі виконання службових обов'язків допустили порушення екологічних вимог. Це можуть бути догана, звільнення з посади, позбавлення премій тощо.

Попри розвинену нормативну базу, система відповідальності має низку суттєвих недоліків:

- низька ефективність контролюючих органів – екологічні інспекції часто не мають достатніх ресурсів та повноважень;
- недосконалість методик оцінки збитків – у багатьох випадках складно визначити реальну вартість шкоди, завданої природі;
- корупційні ризики – на практиці екологічні правопорушення часто залишаються безкарними через корупцію;
- низький рівень санкцій – штрафи іноді є меншими за економічну вигоду від правопорушення;
- тривалість судових процесів – розгляд справ про екологічні злочини може тривати роками, що зменшує превентивний ефект відповідальності.

Проблеми та перспективи удосконалення законодавства є однією з найактуальніших тем сучасного правознавства, оскільки від якості та ефективності нормативних актів залежить стабільність правової системи, захист прав і свобод громадян, а також функціонування державних інститутів.

Однією з головних проблем законодавства є його «розбалансованість та фрагментарність»: численні закони, підзаконні акти та нормативні документи часто суперечать один одному, містять дублюючі або застарілі норми, що ускладнює їх практичне застосування. Така ситуація призводить до правової невизначеності, виникнення різночитань у судовій практиці та зниження ефективності реалізації правових норм.

Ще однією суттєвою проблемою є «неузгодженість національного законодавства з міжнародними стандартами». Україна ратифікувала ряд міжнародних договорів, проте частина норм національного законодавства не відповідає сучасним міжнародним вимогам, що створює правові колізії і ускладнює співпрацю з іноземними партнерами. Зокрема, це стосується питань екологічної безпеки, захисту прав людини, антикорупційного законодавства та регулювання цифрових технологій.

Проблемою залишається і «низька оперативність внесення змін до законодавства». Законодавчий процес часто є тривалим і бюрократизованим, що призводить до запізненого реагування на нові соціальні, економічні чи технологічні виклики. Наприклад, питання електронного врядування та цифровізації правових процедур потребують швидкої нормативної реакції, проте законодавство оновлюється повільно, що створює правові прогалини.

Правова відповідальність за екологічні правопорушення в Україні є складовою системи забезпечення екологічної безпеки та реалізації права громадян на безпечне довкілля. Попри значний обсяг нормативного регулювання, практична ефективність цієї системи потребує суттєвого вдосконалення. Гармонізація українського законодавства з міжнародними стандартами, посилення відповідальності, удосконалення контролюючих механізмів та розвиток екологічної свідомості суспільства є необхідними умовами побудови ефективної та справедливої системи охорони довкілля.

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ ЗБОРУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОЩОВИХ І ТАЛИХ ВОД У БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКАХ

Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук
39600, вул. Миколи Залудяка, 3, Кременчук, Україна; kpudmytro@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the analysis of the world experience in the design, construction and operation of rainwater and meltwater collection and use systems (RWCS) in apartment buildings. The key elements of the system are considered, from the calculation of the catchment potential (with the formula) to the treatment and distribution components. The regulatory standards of Germany and Australia are analyzed. It is proven that the RWCS is a critical tool for reducing the load on centralized networks and increasing the sustainability of urban water use. The need to adapt international standards and introduce economic incentives for the widespread use of the technology in Ukraine is identified.

У контексті зростаючого дефіциту водних ресурсів та збільшення навантаження на міські водопровідні та каналізаційні системи, впровадження систем збору та використання дощових і талих вод (СЗВДТВ) у багатоквартирних будинках є ключовим елементом сталого міського водокористування. Традиційні підходи до водозабезпечення міст, орієнтовані виключно на централізовані системи, стають економічно та екологічно нестійкими. Дощові та талі води, які раніше розглядалися лише як елемент поверхневого стоку, що потребує відведення, сьогодні визнаються цінним вторинним ресурсом. Інтеграція СЗВДТВ у багатоквартирні будинки не лише зменшує навантаження на міську інфраструктуру, але й забезпечує мешканцям часткову автономію та економію.

Світова практика, зокрема у Німеччині, Австралії, Японії та США, демонструє успішні приклади широкого впровадження таких систем, регульованих чіткими нормативами та стимулюючими програмами.

Німеччина є одним із лідерів у впровадженні СЗВДТВ, де законодавчо закріплені технічні стандарти (наприклад, DIN 1989). Тут дощова вода переважно використовується для технічних потреб (змив унітазів, прання, полив). У багатьох містах застосовуються економічні стимули, такі як зменшення плати за водовідведення для об'єктів, що використовують дощову воду, оскільки це знижує обсяг стоку, що надходить у міську каналізацію.

В Австралії, особливо в регіонах, схильних до посухи, СЗВДТВ є нормою. Тут дощова вода може використовуватися навіть для питного водопостачання після застосування багатоступеневої системи очищення та знезараження, що регулюється суворими державними стандартами якості.

Ключовий урок світового досвіду полягає у чіткому розмежуванні мереж: питний водопровід (централізоване постачання) і технічний водопровід (дощова вода, вторинне використання). Це розмежування є критично важливим для запобігання перехресному забрудненню та забезпечення санітарної безпеки, що, своєю чергою, вимагає ретельного проєктування та маркування трубопроводів.

Розрахунок потенціалу водозбору є першочерговим етапом проєктування та визначає очікувану кількість ресурсу. Він базується на аналізі трьох основних параметрів: площі водозбору (переважно площі покрівлі), середньорічної кількості опадів для конкретного регіону та коефіцієнта стоку (Ψ), який враховує матеріал поверхні та втрати на випаровування. Крім того, необхідно застосовувати коефіцієнт використання, що враховує втрати на початковий скид (First Flush Diverter).

Формула розрахунку очікуваного об'єму стоку ($V_{\text{ст}}$) виглядає так:

$$V_{\text{ст}} = A \cdot h_{\text{опад}} \cdot \Psi \quad (1)$$

де A — площа водозбору, $h_{\text{опад}}$ — річна норма опадів, Ψ — коефіцієнт стоку.

Точний розрахунок необхідний для правильного визначення об'єму накопичувального резервуару.

Ключовим моментом є якість води. Дощова вода може містити мікроорганізми, пилок, важкі метали. Для використання її в туалетах та для прання необхідна дезінфекція (УФ-опромінення або хлорування), а також захист резервуару від доступу світла, що запобігає цвітінню.

Типова система СЗВДТВ інтегрується в інженерне обладнання будівлі та складається з наступних ключових елементів, які вказані в табл. 1.

Компоненти системи, їх призначення та технічні вимоги

Компонент Системи	Призначення	Технічні Вимоги / Особливості
1. Водозбірний елемент	Забезпечення первинного збору опадів.	Переважає покрівля будівлі (важливо: матеріал покрівлі не повинен бути токсичним).
2. Фільтрація грубої очистки	Видалення крупних забруднень (листя, гілки, сміття).	Встановлюється у водостічних трубах або перед резервуаром (гратчасті фільтри, сітки).
3. Первинний (байпасний) скид (First Flush Diverter)	Скид найбільш забрудненої першої порції дощу, що містить пил, бруд з покрівлі та повітря.	Механізм із запірним клапаном, який автоматично відводить перші 5-10 літрів стоку на одиницю площі.
4. Накопичувальний резервуар	Зберігання зібраної води для подальшого використання.	Може бути підземним (захист від замерзання та світла) або наземним. Об'єм розраховується на основі балансу попиту/пропозиції.
5. Насосна станція та гідроаккумулятор	Подача води під необхідним тиском у внутрішню мережу будівлі.	Повинна бути енергоефективною; обладнана системою захисту від сухого ходу.
6. Система тонкої фільтрації	Доочищення води перед подачею споживачу (технічні потреби).	Піщані, вугільні або картриджні фільтри для видалення дрібних часток та запахів.
7. Система знезараження (опційно)	Забезпечення санітарної безпеки води (для прання, душу в деяких стандартах).	Переважає УФ-опромінення (екологічніше) або дозування хімічних реагентів (хлору).
8. Система розподілу та маркування	Подача очищеної води до точок споживання.	Окрема, чітко маркована (наприклад, питна вода) мережа трубопроводів для запобігання перехресному забрудненню.
9. Автоматичне підживлення	Забезпечення безперебійної подачі води у разі нестачі дощової води.	Система, що автоматично перемикається на централізований питний водопровід (з розривом струменя) при мінімальному рівні у резервуарі.

Надійність системи залежить від регулярного технічного обслуговування (ТО). Необхідне щоквартальне очищення фільтрів грубої очистки та водостічних жолобів, а також щорічний огляд та очищення накопичувального резервуару від донного осаду. Крім того, важлива регулярна перевірка працездатності насосної станції та системи автоматичного підживлення. Недотримання графіку ТО, своєю чергою, призводить до погіршення якості води та зниження загальної ефективності системи.

Економічна ефективність СЗВДТВ оцінюється через співставлення капітальних витрат (проектування, обладнання, монтаж) та експлуатаційних заощаджень (зниження плати за спожиту воду та водовідведення).

Сфера використання, відсотки споживання технічної води вказані в табл. 2.

Таблиця 2

Сфери використання технічної води і відсотки від загального споживання

Сфера Використання	% від Загального Споживання	Якість Води
Змив унітазів	25-30%	Технічна (після фільтрації)
Прання	10-15%	Технічна (після фільтрації та дезінфекції)
Полив	5-10%	Технічна (після грубої фільтрації)

За світовим досвідом, термін окупності СЗВДТВ у багатоквартирних будинках, особливо великих, коливається від 5 до 15 років залежно від тарифів на воду та субсидій. Додатковий ефект дає зменшення навантаження на очисні споруди міста.

Системи збору та використання дощових і талих вод (СЗВДТВ) є виправданою та необхідною інвестицією у стійке інженерне обладнання сучасних багатоквартирних будинків. Світовий досвід підтверджує їхню технічну зрілість та економічну доцільність, перетворюючи проблему поверхневого стоку на ресурсну перевагу, що сприяє підвищенню екологічності, надійності та автономності міської житлової інфраструктури. Для їхнього успішного впровадження в Україні необхідний комплекс заходів, що охоплює розробку чіткої нормативної бази, яка стандартизує проектування та вимоги до якості питної води, за прикладом DIN 1989. Також критично важливим є впровадження економічних стимулів – наприклад, пільг на водовідведення – для забудовників та мешканців, що інтегрують СЗВДТВ. Насамкінець, для забезпечення якості робіт необхідне підвищення кваліфікації інженерів-проектувальників та монтажників у сфері водопостачання.

МАСЦЬКИЙ М.М., ОДНОРИГ З.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ВПЛИВ БУРОВОГО ШЛАМУ НА ВОДНІ РЕСУРСИ: РИЗИКИ, НАСЛІДКИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

*Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів*

Abstract. Drilling fluids and wastes in the oil and gas industry pose significant risks to water resources. Key threats include migration of toxicants into groundwater, surface runoff contamination, and long-term accumulation of pollutants in aquatic ecosystems. It is recommended to introduce local systems for the collection and recirculation of drilling fluids to reduce their overall volume. Continuous monitoring of surface and groundwater quality, emergency response plans for leak elimination, and public participation in decision-making provide an additional level of protection.

Одним із основних джерел потенційного забруднення поверхневих та ґрунтових вод у нафтогазовій промисловості є буровий шлам та відходи процесу буріння. Розчин містить важкі метали, такі як свинець, барій, кадмій та миш'як а також поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ або РАНs), ВТЕХ-компоненти та синтетичні полімери. При неналежному поводженні з буровим шламом, ці речовини мігрують у водні горизонти та змінюють хімічний склад води, а також підвищують її мінералізацію та створюють токсичне навантаження для водної флори та фауни.

Аналізуючи причини забруднення середовища буровим шламом, можна виділити одну із основних - це порушення цілісності обсадних колон свердловин, що включає дефекти цементації та/або механічні пошкодження які у свою чергу призводять до витоків бурового розчину у водоносні горизонти. Дотримання стандартів буріння не завжди запобігає перетіканню хімічних домішок під дією високого тиску або гідророзриву. Іншим фактором є поверхневий дощовий стік із бурових майданчиків, де, за умови відсутності багат шарової гідроізоляції хлориди та важкі метали проникають у ґрунтові води та річки.

Аварійні скиди бурових рідин у річки чи озера різко збільшують рівень забруднення поверхневих вод, через що знижується рівень розчиненого кисню, що призводить до загибелі гідробіонтів і руйнування локальних екосистем. Практичні дослідження у Європі виявляють у відфільтрованому шламі перевищення концентрацій барію у понад 2000 мг/л. Також гостру токсичність для водяних бліх *Daphnia magna* виявляють в Казахстані, де рівень токсичності був менший за 50мг/л. В умовах морських екосистем бурові частки відкладаються на дні моря та переносяться течіями, забруднюючи великі акваторії і безпосередньо впливаючи на бентос.

У разі недостатньої ефективності природних геологічних бар'єрів важкі метали та ВТЕХ-сполуки здатні поширюватися на кілька кілометрів від місця утворення. А в регіонах із тривалим впливом бурових відходів на водопостачання фіксуються ураження шкірних покривів, онкологічні та хронічні хвороби. Зокрема в Нігерії у жителів які користуються колодязною водою, поблизу полігонів де зберігають буровий шлам, виявляють підвищений ризик розвитку онкологій.

Мінімізація впливу на водні ресурси потребує сучасних технічних та управлінських рішень.

Результати досліджень, проведених у різних країнах світу, рекомендують різноманітні фізичні, хімічні та біологічні методи обробки відходів буріння: біоре mediaція, термічна, фізико-хімічна, обробка надкритичною рідиною, електрокінетична обробка та стабілізація/твердіння. Серед інженерних заходів – використання багат шарових обсадних колон, високоякісної цементації, постійний моніторинг тиску та температури бурового розчину для попередження витоків. Ділянки бурового майданчика, де можливий контакт бурового розчину, хімреагентів і ПММ з ґрунтом (вишкочний блок, силовий блок лебідки, насосний блок, циркуляційна система, блоки для приготування і очистки бурового розчину, блок ПММ, склад хімреагентів та інш.) покриваються залізобетонними плитами. Для зменшення вилуговування токсикантів ефективним є метод затвердіння бурових шламів, низькотемпературна термічна десорбція та застосування біосорбентів (наприклад соломи, що знижує рухливість свинцю та кадмію на понад 75%). Після чого повторне використання оброблених шламів у полімерних композитах дозволяє скоротити обсяг захоронення.

Важливим фактором є також просторове планування: бурові майданчики слід розміщувати поза межами зон санітарної охорони водозаборів і водно-болотних угідь. Тимчасові сховища відходів необхідно облаштовувати ізольованими багат шаровими покриттями.

Отже, бурові розчини та шлам становлять серйозну загрозу водним ресурсам навіть за умов сучасних технологій буріння. Комплексний підхід дає змогу зберегти водні екосистеми, забезпечуючи баланс між енергетичними потребами та безпекою довкілля.

РИЛЬСЬКИЙ О.Ф.¹, РИЛЬСЬКИЙ І.О.², ПЕТРУША Ю.Ю.²,
ДОМБРОВСЬКИЙ К.О.¹ (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

ЗМІНА КЛІМАТУ ТА ДЕФІЦИТ ПРІСНОЇ ВОДИ В БІОСФЕРІ

¹Запорізький національний університет

69011, вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна; znu@znu.edu.ua

²Національний університет «Запорізька політехніка»

69011, вул. Університетська, 64, Запоріжжя, Україна; rector@zp.edu.ua

Abstract. Today, climate change on planet Earth directly affects all structural components of the biosphere, including the most important component of life – Water. There is an urgent need to develop practical measures that will reduce the danger to humans due to the catastrophic shortage of drinking water. The authors propose to use treated wastewater completely (after biological treatment) for irrigation of agricultural lands. In this case, wastewater should pass through artificially created bioplateaus (artificial ponds) taking into account the local landscape on the way from treatment facilities to river beds. This will allow to implement the principle of the «bioconveyor».

Зміна клімату планети Земля сьогодні є беззаперечним явищем. Ця зміна безпосередньо впливає на всі структурні компоненти біосфери та зв'язки між ними для людської популяції як складової планети. Надважливими і небезпечними являються зміни в гідросфері як на локальних територіях, так і в біосфері в цілому.

Зміни в гідросфері – це не тільки перерозподіл об'ємів води в різних областях біосфери, це прямий вплив змін клімату на найважливіший компонент життя – Воду. Сьогодні об'єми води, що випадають з опадами на окремих територіях – це не тільки природний чинник, пов'язаний зі зміною клімату, але й антропогенний чинник, який набув планетарного характеру.

Дискусії, роздуми, дослідження наукової спільноти про первинність домінантного впливу природних чи антропогенних чинників на зміни клімату повинні бути замінені на розробку практичних заходів, які знизять небезпеку для людини через катастрофічний дефіцит питної води і припинять зростання смертності через «вбивства» людей за рахунок збільшення міських островів тепла.

Про проблему дефіциту води в Україні треба вести серйозну розмову вже зараз, бо динаміка дефіциту прискорюється якраз під впливом зміни клімату. Особливо гостро це питання стоїть для південних та південно-східних областей нашої країни.

Із зруйнуванням Каховської греблі та під впливом військових дій в Херсонській, Запорізькій, Дніпропетровській і Донецькій областях сьогодні стало особливо важливим, щоб після деокупації територій цих областей питання дефіциту води не стало несподіванкою.

Ідея авторів полягає в тому, що необхідно повністю використовувати очищені стічні води (після біологічної очистки) для поливу сільськогосподарських земель у весняно-літній період під час інтенсивної вегетації сільськогосподарських культур.

Сьогодні очищені стічні води у всіх великих містах України скидаються в річки, в тому числі в Дніпро. Це абсолютно недопустимо, адже Дніпро є основним джерелом питної води нашої держави.

Стічна вода після біологічного очищення повинна пройти стадію природного самоочищення, проходячи через штучно створені біоплато, в штучних ставках, де вода повільно тече багатокілометровими шляхами до русла Дніпра та інших річок. Для такого штучно створеного шляху води до річок треба використовувати яри, балки, штучно прориті канали з використанням місцевого ландшафту. Таке штучне «розтягування» шляху води від очисних споруд до русла річок – це найкраще використання принципу «біоконвеєра», запропонованого д.б.н., професором Петром Іллічем Гвоздюком.

Наш досвід використання штучно створених біоплато в очисних спорудах «Мотор Січ» (для доочищення води), а також штучних носіїв в річці Капустянці (для доочищення води після промислового шламонакопичувача), вказує на те, що шлях води по системам доочищення повинен бути довгим (2-3 км). Тоді утворюється стійка система трофічних ланцюгів між гідробіонтами.

Це глибока доочистка води процесами самоочищення, і це є додаткове джерело води для сільськогосподарського використання.

ПОДШИВАЙЛОВА Т.О., ПЕТРУШКА К.І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ПЕРЕРОБКИ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна; tetiana.podshyvailova.eo.2023@lpnu.ua

Abstract. The abstract discusses the current challenges and methods of wastewater sludge recycling in Ukraine. It analyzes the issues of outdated treatment technologies, inadequate infrastructure, and the lack of an effective national strategy for sludge management. Special attention is given to environmental risks, particularly soil and water pollution. Promising utilization methods, such as anaerobic digestion, pyrolysis, and composting, are highlighted, along with the need to modernize treatment facilities and implement international best practices to ensure sustainable waste management and energy efficiency.

Проблема утилізації осадів стічних вод в Україні стоїть украй гостро. На більшості каналізаційних очисних споруд (КОС) зневоднення досі знаходиться на примітивному рівні мулових майданчиків чи навіть мулових полів, які є малоефективними, потребують великих площ і до кінця не вирішують проблему утилізації осаду.

Частково ситуація, що склалася, є спадком радянської системи, де питанню зневоднення осадів приділяли замало уваги, а централізація каналізаційної системи призвела до появи КОС величезної потужності. Наслідком такої політики стала повна відсутність вузлів зневоднення на очисних або їх зачаткові етапи. Однією з найбільш складних екологічних проблем сучасної України є зберігання та утилізація осаду стічних вод. Щорічно утворюються значні обсяги осаду, який містить органічні та мінеральні речовини, мікроорганізми і токсичні компоненти.

Неналежне поводження з цими відходами призводить до погіршення стану довкілля, забруднення ґрунтів і вод, утворення неприємних запахів і викидів парникових газів.

Вивчення зарубіжного досвіду поводження з осадом є важливим кроком для модернізації системи в Україні.

У країнах Європейського Союзу та Північної Америки вже багато років застосовуються ефективні практики зберігання та утилізації осадів, які можуть бути адаптовані під українські умови.

Одним із найбільш поширених підходів є використання анаеробного зброджування з подальшим виробництвом біогазу, що активно впроваджується в Німеччині. Там значна частина очисних споруд оснащена установками, які дозволяють не лише зменшувати обсяги осаду, але й отримувати відновлювану енергію.

Біогаз використовується для виробництва тепла та електроенергії, що знижує витрати на експлуатацію КОС.

У Швеції значна увага приділяється питанням екологічної безпеки. Там впроваджено систему контролю за вмістом важких металів і токсичних речовин у осадах. Тільки після проходження відповідної перевірки та обробки осад може бути використаний як добриво у сільському господарстві.

Корисним прикладом для України є також досвід Польщі. У цій країні протягом останніх двадцяти років було проведено масштабну модернізацію очисних споруд завдяки фінансуванню з боку Європейського союзу. Основна увага приділялася побудові сучасних систем зневоднення, сушіння та термічної утилізації осадів. Результатом стало значне зниження екологічних ризиків і перетворення осадів у ресурс для виробництва енергії.

Отже, Україні доцільно запозичити такі підходи: розвиток анаеробного зброджування для виробництва біогазу, впровадження систем контролю за токсичними речовинами, активне залучення міжнародних інвестицій і фондів для модернізації очисних споруд. Це дозволить підвищити рівень екологічної безпеки та зменшити залежність від викопних джерел енергії.

Україні необхідно модернізувати очисні споруди, залучати інвестиції, удосконалювати законодавство та впроваджувати сучасні екологічні технології. Проблема утилізації осаду в Україні залишається невирешеною і потребує комплексного підходу. Необхідна модернізація очисних споруд та впровадження сучасних технологій. Важливим є залучення інвестицій і міжнародного досвіду. Використання осаду як ресурсу дозволить підвищити екологічну безпеку та енергетичну незалежність.

ПЕТРУШКА К.І., СВІТЛИК О.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ВОДА ТА СТІЧНІ ВОДИ: ВИКЛИКИ УПРАВЛІННЯ
ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ**

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна; katelyna.i.petrushka@lpnu.ua

Abstract. The abstract addresses the key challenges of water and wastewater management in the context of increasing anthropogenic pressure and climate change. The main environmental threats caused by ineffective water management are identified, and possible solutions are outlined through the modernization of treatment facilities, the implementation of advanced technologies, and the adoption of an integrated management approach. The necessity of systemic reform in the water sector is emphasized to ensure ecological stability.

Вода є критично важливим ресурсом для існування екосистем, здоров'я населення та сталого розвитку. Неефективне управління водними ресурсами та стічними водами призводить до значного погіршення стану довкілля, забруднення водних об'єктів і загострення проблем водозабезпечення. В Україні проблема посилюється через зношеність інфраструктури, відсутність інтегрованого підходу до управління та слабкий контроль за скидами.

Система управління водними ресурсами та стічними водами в Україні стикається з низкою критичних проблем, які мають як технічний, так і організаційний характер. Однією з ключових є застаріла водоочисна інфраструктура. Більшість очисних споруд було збудовано ще у 1960–1980-х роках і з того часу майже не модернізувалися. Наприклад, у багатьох містах, споруди працюють за технологіями, що не забезпечують належного видалення сполук азоту та фосфору, які є основними чинниками евтрофікації водойм.

Ще однією суттєвою проблемою є низька ефективність очищення стічних вод. У багатьох регіонах України рівень очищення не відповідає екологічним нормам, особливо у сільській місцевості, де каналізаційні системи або відсутні, або функціонують частково. Як наслідок, неочищені або недостатньо очищені стічні води потрапляють у річки та озера, зокрема в басейн Дніпра, що забезпечує водою мільйони людей.

Крім того, в Україні спостерігається відсутність інтегрованого підходу до управління водними ресурсами, коли прийняття рішень здійснюється без урахування басейнового принципу, впливу суміжних галузей або інтересів громад. Наприклад, будівництво промислових об'єктів у безпосередній близькості до водних об'єктів часто відбувається без належної екологічної оцінки, що призводить до локального забруднення та деградації водних екосистем.

Недостатній моніторинг якості води також є суттєвою проблемою. Система державного моніторингу не покриває всі водойми та не забезпечує оперативного збору даних про забруднення. Наприклад, у разі аварійного скиду неочищених стічних вод, як це неодноразово траплялося в Одесі чи Львові, органи місцевого самоврядування часто дізнаються про проблему запізно, що унеможливляє швидке реагування.

Загалом, усі ці проблеми ускладнюють забезпечення екологічної безпеки та сталого водокористування в країні, потребуючи комплексного підходу та державної політики, орієнтованої на довгострокові результати.

Неефективне управління водними ресурсами та стічними водами призводить до серйозних екологічних наслідків, які зачіпають не лише водні екосистеми, а й пов'язані з ними компоненти навколишнього середовища — ґрунти, флору, фауну та здоров'я людини.

Ще одним наслідком є забруднення ґрунтів та підземних вод. У місцях, де немає централізованої каналізації, побутові та промислові стоки зливаються у вигрібні ями або потрапляють безпосередньо у ґрунт. Це призводить до накопичення у навколишньому середовищі шкідливих речовин, зокрема важких металів, залишків ліків, мікропластику та органічних токсикантів, які можуть проникати у підземні водоносні горизонти. Особливо гостро ця проблема стоїть у сільській місцевості, де часто використовується колодязна вода для пиття.

Комплексне управління водними ресурсами та стічними водами є необхідною умовою для забезпечення екологічної стабільності. Впровадження сучасних технологій, удосконалення нормативно-правової бази та активна участь громадськості у прийнятті рішень сприятимуть збереженню водних екосистем і покращенню якості життя населення.

КАРДАШ А.А., ПЕТРУШКА К.І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**КОМПОСТУВАННЯ ЯК ТЕХНОЛОГІЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТА
ПЕРЕРОБКИ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД У РЕСУРС**

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна; anastasiia.kardash.eo.2023@lpnu.ua

Abstract. Sewage sludge management is one of the main challenges in wastewater treatment. Composting is a sustainable technology that ensures sludge disinfection, stabilization, and transformation into a valuable resource. This process reduces waste volumes, minimizes environmental risks, and produces safe organic fertilizer. The European experience demonstrates the effectiveness of composting in meeting strict environmental standards. For Ukraine, integrating this method can enhance wastewater management, support circular economy principles, and contribute to sustainable agricultural development.

Однією з ключових проблем у сфері водопідготовки та водовідведення є накопичення значних обсягів осаду стічних вод. Традиційне захоронення осаду на полігонах не відповідає вимогам сталого розвитку та створює ризики для довкілля. Сучасні тенденції управління відходами спрямовані на перетворення осаду з відходу на вторинний ресурс, придатний для подальшого використання.

За оцінками Європейської комісії, щороку в країнах ЄС утворюється понад 10 млн. тон сухого осаду, що вимагає безпечної переробки. Традиційні методи, такі як полігонне захоронення або спалювання, пов'язані з високими екологічними ризиками, викидами парникових газів і значними витратами.

Одним із перспективних методів переробки є компостування - біотехнологічний процес, що забезпечує знезараження, стабілізацію та зниження вмісту токсичних речовин у складі осаду. Цей підхід дозволяє не лише зменшити кількість відходів, але й отримати продукт із високою агрономічною цінністю. Компостування сприяє знешкодженню патогенних мікроорганізмів, зниженню ризиків забруднення ґрунтів важкими металами та формуванню безпечного органо-мінерального добрива. Компостування дозволяє скоротити обсяг відходів, що потрапляють на полігони, зменшити викиди метану у порівнянні з полігонним зберіганням, а також сприяє замкненому циклу ресурсів відповідно до принципів циркулярної економіки. Додатковим ефектом є зменшення потреби у виробництві мінеральних добрив, яке супроводжується значними енергозатратами та викидами CO₂.

Європейські норми регламентують обов'язкову обробку та стерилізацію осаду перед його утилізацією чи повторним використанням. Приклади впровадження цієї практики у США та країнах ЄС доводять ефективність технології компостування як частини системи очищення та обробки стічних вод. Це дозволяє скоротити викиди парникових газів у порівнянні з полігонним захороненням, забезпечити циркулярність матеріальних потоків і відповідність принципам Європейського зеленого курсу.

У США близько 50 % осаду після очищення стічних вод використовується у сільському господарстві у вигляді компосту. Це дозволяє знизити потребу у хімічних добривах і зменшити навантаження на полігони.

В Іспанії щороку виробляється близько 8 млн. тон вологого осаду, і нові нормативи вимагають його стерилізації та стабілізації. Тут активно застосовуються технології тунельного компостування з контрольованою аерацією.

В Угорщині 20-річний польовий експеримент довів, що регулярне використання компосту з осаду підтримує рівень органічної речовини в ґрунті та підвищує його родючість.

Для України компостування осаду стічних вод може стати ефективним рішенням проблеми його накопичення, водночас забезпечуючи ресурс для сільського господарства. Важливим етапом впровадження цієї технології є створення системи контролю якості кінцевого продукту та адаптація європейських стандартів до національних умов.

Компостування є ефективною технологією очищення і переробки осаду стічних вод, що поєднує екологічну безпеку, економічну доцільність та ресурсозбереження. Подальші дослідження та практичне впровадження цієї технології дозволять інтегрувати Україну у сучасні європейські практики управління водними ресурсами та відходами.

БУДНІК С.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)

СУЧАСНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВОД СУШІ ТА ДЕЯКІ ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ЇЇ КОРЕГУВАННЯ

Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського ДСНС України
03028, проспект Науки, 39, корп. 2, Київ, Україна; svetlana_budnik@ukr.net

Abstract. This paper examines the need to optimize surface water monitoring systems in accordance with long-standing practices and address current challenges, such as changes in water use and the impact of climate change. Specifically, it proposes focusing on integrating water quality monitoring stations with river flow measurement stations, as well as more detailed measurements of water temperature throughout the day, as the latter can cause aquatic organism mortality, the development of blue-green algae, and other factors.

Система спостережень за станом поверхневих вод суші постійно привертає увагу, як фахівців, так й населення. Оскільки зміни у водокористуванні та кліматичні впливи постійно потребують уваги до стану вод. З цією метою затверджено ряд положень щодо ведення державного моніторингу вод, до яких постійно додаються зміни та уточнення. Зрозуміло, що деякі зміни викликані саме сучасним станом вод, зміщення акцентів щодо контролю за біологічними показниками й інш, але з метою можливості порівняння, фіксування моментів змін й т.інш. потрібно додержуватись багаторічного стержню системи спостережень за забрудненням вод. Тоб-то враховувати досвід практично 100 річних спостережень за хімічним складом вод. Так, згідно (О.А. Алекин 1952 та інш.) використання відомостей про хімічний склад води дозволяє вирішувати наступні завдання 1) оцінку якості води за її фізіологічною дією на організм й цінність для господарських потреб, 2) оцінку водного об'єкту для водозабезпечення при використанні хімічного складу води як показника санітарно-гігієнічного стану об'єкту. У першому завданні основне значення мають фізико-хімічні відомості, в той час як у другому вони мають другорядне значення, поступаючись бактеріологічним дослідженням.

Визначення хімічного складу води є основою при здійсненні, як оцінки якості води, так й дослідження іонного стоку води. Дослідження іонного стоку води детально велось на мережі державної гідрометслужби до 1990-их років. Причому, найдетальніше на водно-балансових станціях. В подальшому детальність досліджень суттєво скоротилася. Основні завдання при дослідженні іонного стоку це дослідження балансу притоку та відтоку іонів на ділянках гідрографічної мережі за різних геосферах: атмосфері, гідросфері та літосфері та врахування витрати носія іонів (води), тоб-то підраховується кількість перенесеної водою розчинної речовини у кілограмах, тонах чи тонах з кілометра квадратного.

Моніторинг вод, що представлено зараз (у вигляді Щоденних даних про якість поверхневих вод суші) обмежено представляє широке коло завдань моніторингу вод взагалі. Відчутне об'єднання різних за спрямованістю програм моніторингу: тут вам й контроль підприємств й водозаборів й спроби зберегти контроль за іонним стоком. Що не виконує цей моніторинг: 1) контроль за іонним стоком дуже обмежений, бо не охоплює всі геосфери системно (на одному водозборі), 2) вимірювання водного стоку ведеться на дуже обмеженій кількості пунктів відбору проб води на хімічний та інш. склад. Цей перелік скоротився порівняно з попередньою версією моніторингу. Можливість пов'язати склад вод і водність річок обмежена. Практично неможливо простежити зміни складу вод по довжині русел та за багаторічний період по більшості річок, оскільки частина постів, що мають найбільші ряди спостережень за хімічним складом не увійшли до переліку пунктів спостережень.

Треба підкреслити, що суміщення гідрохімічних спостережень з існуючою мережею гідрологічних станцій в системі гідрометслужби було одним з ключових моментів щодо розміщення пунктів гідрохімічних спостережень на мережі гідрологічних станцій гідрометслужби на початку проведення спостережень (О.А. Алекин, 1952 та інш.). Й це не лише пов'язано зі зручністю відбору й аналізу проб, а й продиктовано суто практичними міркуваннями щодо подальшого використання отриманої інформації, а саме визначення окрім вмісту розчинних речовин у літрі води, ще й стоку іонів через переріз у створі поста, й можливість підрахунків виносу кілограмів речовини, в тому числі й забруднювачів з одних ділянок гідрографічної мережі у інші й інш.

Задля можливості використання матеріалів спостережень для вирішення широкого кола завдань науки та практики потрібна консолідація задач та структури здійснення моніторингу. Також сучасні кліматичні зміни потребують більш детального нагляду за температурою водних об'єктів, оскільки остання поряд з хімічними забруднювачами впливає на стан водних екосистем й може викликати замор

водних організмів, поширення синьо-зелених водоростей та інш. На гідрологічних постах ведеться вимірювання температури води двічі на добу – у 8 ранку й у 20 вечора (автоматичні пости встановлено переважно на гірських річках з швидко змінним режимом), однак у день температура води суттєво підвищується. Тут доцільно облаштування постів спостережень автоматичними вимірювачами температури води для цілодобового контролю, особливо на ділянках рибогосподарського значення.

Існуючі спостереження за температурою води показують практично повсюдне зростання як середньої температури води, так й її абсолютного максимуму (рис.), виключенням є ділянки річок з виходом ґрунтових вод.

Серед заходів щодо можливого зменшення температури води можна рекомендувати висадження дерев вздовж берегової смуги, використання водного простору для розміщення над ним сонячних панелей електростанцій (такий досвід вже існує у Індії й інших країнах) тощо.

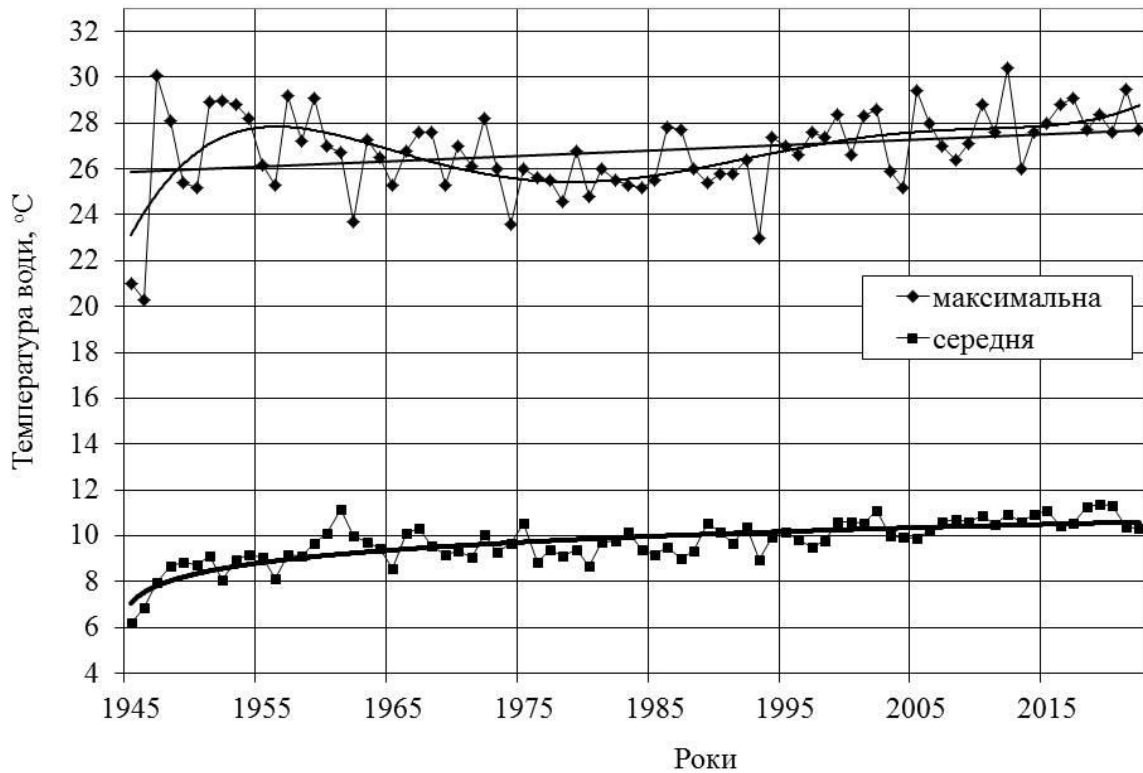


Рис. Динаміка в часі середньої з двох строків спостережень (8 годин ранку й 20 годин вечора) температури води за рік по р. Случ - м.Сарни.

**WATER SUPPLY ISSUES IN AFFECTED REGIONS FOLLOWING THE DESTRUCTION
OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC POWER PLANT**

*Lviv Polytechnic National University,
79013, st. Stepan Bandera, 12, Lviv, Ukraine; yelyzaveta.nykoniuk.meoek.2025@lpnu.ua*

Abstract. The study analyzes the social, economic, and environmental consequences of the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant, which caused a large-scale water supply crisis in southern Ukraine. The problems of loss of drinking water sources, disruption of irrigation systems, pollution of water bodies, and the need to monitor their quality are considered. The critical importance of sustainable water resource management and the implementation of methods to restore water supply is emphasized.

Ukraine is one of the countries with water shortages, so the conservation and rational use of fresh water sources is one of the key tasks for ensuring sustainable development and national security. Water resources have strategic importance not only for the population, but also for the functioning of industry and agriculture. In this context, the Kakhovka Hydroelectric Power Plant played an important role in providing electricity, regulating water resources, and supplying drinking water to millions of residents in the eastern and southern regions of Ukraine. The Kakhovka HPP reservoir also served as the main source of irrigation for agricultural land and industrial processes. That is why its destruction in 2023 caused not only energy, but also large-scale social, economic, and environmental consequences. Analysis of these challenges is necessary to find ways to restore water supply systems and develop long-term solutions in the field of water resource management.

The destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant reservoir led to a large-scale water crisis, as a result of which more than 1.5 million residents in 164 settlements in the Kherson, Dnipropetrovsk, Zaporizhzhia, and Mykolaiv regions lost access to fresh water. According to expert estimates, the volume of water lost was about 14 billion cubic meters, which is comparable to the annual water consumption of some African countries. Significant difficulties arose in large cities, particularly in Kryvyi Rih and Kherson, where centralized water supply was completely cut off. Approximately half of the population of these areas were temporarily supplied with water by water trucks or mobile purification systems.

Agriculture also suffered significant losses. Disruption of the irrigation system in southern regions led to the dehydration of about 100,000 hectares of agricultural land. Environmental consequences include mass fish deaths, degradation of aquatic ecosystems and soils, which significantly complicates the process of restoring water supply and increases risks to public health. In such conditions, restoring access to water resources is considered a critical task that requires a systematic approach, including infrastructure modernization, the introduction of modern water purification technologies, and the creation of backup water supply systems.

Given the acute shortage of water resources and its negative impact on industry and agriculture, the Ukrainian government approved a pilot plan to restore the Kakhovka Hydroelectric Power Plant with an estimated implementation period of two years. Preliminary expert estimates predicted a minimum restoration period of 5–7 years. The initial stage of the plan covers the design of engineering structures and the creation of a basis for further construction work, which will begin after the de-occupation of the territories. The implementation of this project, commissioned by the state-owned enterprise Ukrhydroenergo under the coordination of the Ministry of Economy, Environment and Agriculture of Ukraine, should ensure the restoration of the water supply system for industrial and agricultural needs, stabilize crop yields, and partially compensate for the loss of maneuvering capacity in the energy sector.

Thus, the destruction of the Kakhovka HPP caused a complex crisis that simultaneously affected the social, economic, and environmental spheres. Overcoming this crisis is only possible through the comprehensive restoration of water management and energy infrastructure, as well as the implementation of long-term strategies for sustainable water resource management.

ДЕНИСЮК.А.Ю., БАРАН С.А., МОЗГОВИЙ В.В. (УКРАЇНА, КИЇВ)**ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ СКЛОБОЮ ДЛЯ ДРИНАЖНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ***Національний транспортний університет**01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1. mozgoviy@gmail.com*

Abstract. One of the types of waste from buildings destroyed as a result of hostilities is broken glass. The conducted studies have shown the possibility of using such material for the drainage layer of deep drainage systems. According to the results of the studies, the patterns of the dependence of the filtration coefficient on the grain composition of broken glass have been established. A characteristic feature has been revealed, which is associated with the number of flat grains that are formed during crushing with an increase in their size.

Для дослідження були використані характерні суміші зерен склобою після подрібнення.

Експериментально встановлено значення модуля крупності, який має значення 3,7, що відповідно до класифікації дрібних заповнювачів відповідає як «дуже крупний».

Також визначалась міцність часток склобою (фракції 5 мм) при стиску за показником дробильності, яка становить значення 600.

Зерновий склад найбільш типової суміші склобою наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати визначення зернового складу склобою

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм							M _к
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
1. Часткові, г	75,53	364,37	165,58	161,0	110,65	57,63	37,62	3,7
2. Часткові, %	7,55	36,43	16,55	16,10	11,10	5,76	3,76	
3. Повні, %	7,55	43,98	60,53	76,63	87,69	93,45	97,21	

За результатами визначення зернового складу коефіцієнт неоднорідності становить близько 8. Для таких сумішей згідно вимог чинних нормативних документів матеріали дренуючих шарів повинні мати коефіцієнт фільтрації не менше 10 м/добу.

Було досліджено значення коефіцієнта фільтрації зерен окремих фракцій склобою після дроблення. Крім того досліджували значення коефіцієнта фільтрації такого матеріалу у суміші з річковим піском, що характеризувався коефіцієнтом фільтрації 16,3 м/добу (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення коефіцієнту фільтрації

№	Склад	K _ф , м/доба
1.	Склобій фр. (0,315-0,63)	59,5
2.	Склобій фр. (0,63 – 1,25)	166
3.	Склобій фр. (1,25 – 2,5)	30,7
4.	Склобій фр. (2,5 – 5,0)	8,6
5.	Склобій фр (0,315-0,63) - 30%, пісок - 70%	25,7
6.	Склобій фр. (0,63 – 1,25) - 30%, , пісок - 70%	21,1
7.	Склобій фр. (0,315-0,63) - 70%, , пісок - 30%	33,5

Результати досліджень свідчать, що із збільшенням крупності фракцій збільшується коефіцієнт фільтрації. Однак після розміру фракції 1,25 спостерігається збільшення плоских частинок у склобої, що призводить до подальшого зменшення коефіцієнту фільтрації зі збільшенням розміру частинок склобою. Це пояснюється тим, що при ущільненні суміші в пристрої для визначення коефіцієнту фільтрації відбувається відома закономірність розташування плоских зерен перпендикулярно до дії ущільнюючого зусилля, що перешкоджає протіканню води. Також спостерігається підвищення коефіцієнта фільтрації дрібного річкового піску зі змішуванні зі склобоєм. Експериментальні дані отримані за участі Борковського П.П.

КУЛИК Є.В., БЛИЗНЮК М.М. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА)

КОМПЕТЕНЦІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ УКРАЇНИ

*Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка
3600, вул. Остроградського, 2, Полтава, Україна; e-kyluk@ukr.net*

Abstract. Based on the analysis of the materials, it is shown that the implementation of Ukraine's intentions to join the EU implies the need to modernize the content of technological education in the context of sustainable development. It is shown that the formation of the system of modern values of European civilization is determined by modern technologies. Therefore, if teachers want to develop sustainability competencies, they need to become active agents of change.

Наміри входження України в ЄС вимагають адаптації системи освіти нашої держави до освітньої системи країн ЄС. Оскільки сучасне техногенне суспільство породжує кризу взаємодії людини з природою, то адаптація освітньої системи України до освітньої системи ЄС повинна відбуватися в контексті формування стратегії сталого розвитку суспільства здатного до подолання всіх негативних наслідків техногенної цивілізації. Такий стан справ актуалізує проблему підготовки «агентів змін» готових змінювати сучасне суспільство, до яких в першу чергу відносяться викладачі технологій.

В роботі використані матеріали: Європейської Комісії, Генеральний директорат для освіти, молоді, спорту та культури, 2021; Економічної комісії ООН для Європи (ЄЕК ООН), 2012, 2013, (2018-2024); Рекомендації Ради Європи від 16 червня 2022 р.; Європейської Комісії / EACEA / Eurydice, 2018); Звіт (ISCED 1, 24 і 34) (2022/2023); (ЮНЕСКО, 2020)

Проведений аналіз літератури показав, що для реалізації цієї ідеї необхідна перебудова системи освіти і її змісту в контексті сталого розвитку. Повинна відбутися культурно-ціннісна переорієнтація буття та діяльності людини, яка повинна реалізуватися у конкретних соціальних механізмах смислоттєвих орієнтацій людей. Встановлено, що феномен культури у відношенні до людини, в сучасному техногенному суспільстві займає не позицію еталону поведінки (канону), моралі, а стає основою формування особистого ціннісного ставлення до світу, це вказує на необхідність принципової зміни способу зв'язку соціуму, який працює в технологічній сфері з культурою. Тому розвиток інформаційних технологій вимагає культуралістичного та інституціоналістського розуміння технології, хоча в більшості випадків сучасні науковці переважно розглядають матеріалістично-інструменталістське розуміння поняття технологія. Зміна погляду на феномен технології дозволяє констатувати, що технології в такому розумінні відіграють ключову роль у посередництві відносин між людьми і навколишнім світом. Такий стан дозволив прийняти тезу про те що технології відіграють вирішальну роль у зміні людського сприйняття моральних цінностей та морального вибору ідеології, інституції культури а також екологічних та матеріальних обмежень. Показано, що наші моральні переконання і звички змінюються в часі та просторі. Тому знаючи або прогножуючи можливі механізми, за допомогою яких технологія може змінити мораль, ми можемо рекомендувати інженерам, дизайнерам та користувачам технологій враховувати ці феномени в своїй професійній діяльності. Такий підхід висуває нові вимоги до системи підготовки майбутніх розробників і користувачів технологій, особливо на базовому (шкільному) та початковому професійному рівні формування особистості. В такому контексті актуалізується проблема формування компетенцій для сталого розвитку в професійній технологічній освіті впродовж життя (ЮНЕСКО, 2020). Порівняльний аналіз європейських підходів до трактування феномену компетентність сталого розвитку (GreenComp) дозволив показав що дана компетентність викладачів технологій щодо сталого розвитку передбачає наявність не тільки знання, вміння і особистих якостей, а й систему цінностей, які визначають мислення та поведінку у взаємодії людини з природою. Європейська Комісія розробила та опублікувала фреймворк GreenComp структуру ключових компетенцій сталого розвитку, для європейця, який навчається протягом усього життя. Показано, що всі країни ЄС володіють своїми підходами до впровадження ідеї сталого розвитку в свої освітні системи. При цьому акцентовано, що заходи по впровадженню сталого розвитку в освітню систему залежать від національного контексту. В Україні актуалізується проблеми освоєння знань сталого розвитку через міждисциплінарне навчання. Тому потребують вирішення питання змісту міжпредметних тем. На рівні держави необхідно створити систему мотивації викладачів технологій, яка би сприяла появі і розвитку «агентів змін».

STETSIAK L., KHLIBYSHYN Y. (UKRAINE, LVIV)

INNOVATIVE METHODS OF WATER AND WASTEWATER TREATMENT IN THE FOOD INDUSTRY

Lviv Polytechnic National University

12 S. Bandera Street, Lviv, 79013, Ukraine; liubov.stetsiak.khr.2022@lpnu.ua

Abstract. In today's food industry, effective wastewater treatment and reuse present significant challenges. Increasing production volumes, strict environmental regulations, and the global imperative for water conservation necessitate the adoption of advanced purification technologies. Conventional methods alone are no longer sufficient to meet the dual requirements of environmental protection and production efficiency.

Among the most promising solutions for food enterprises, membrane technologies (microfiltration, ultrafiltration, reverse osmosis) offer high-quality purification by efficiently removing organic and inorganic contaminants. This allows for water recycling, reduced operational costs, and minimized ecological risks. Biological treatment methods, where microorganisms degrade organic pollutants, are also being integrated, reducing environmental chemical burden and adapting to diverse production needs.

Membrane systems typically remove 95–99% of suspended solids and reduce chemical oxygen demand (COD) by 85–95%, while biological methods remove up to 90% of biodegradable organic pollutants. Combining these approaches ensures higher overall efficiency and stable water quality for reuse.

Crucially, sludge generated during purification can be converted into valuable by-products like biogas or organic fertilizers, supporting a circular economy. Reusing treated water reduces fresh water consumption and pollutant discharge, with enterprises reporting up to 30–40% reduction in operational water costs. Modern wastewater treatment integrates these methods from primary sedimentation to advanced membrane filtration and sludge utilization.

Table 1

WASTEWATER TREATMENT PROCESS IN FOOD PRODUCTION

Step	Process	Purpose
1	Collection of wastewater	Accumulation of all industrial wastewater
2	Primary sedimentation	Removal of large suspended solids, sand, fats
3	Biological treatment	Decomposition of organic pollutants by microorganisms
4	Membrane treatment/Ultrafiltration	Retention of fine suspended matter and microorganisms
5	Reverse osmosis/Fine filtration	Removal of dissolved salts, toxins, micro-pollutants
6	Sludge management	Dewatering, stabilization and disposal of sludge
7	Reuse/Discharge	Use of treated water in production or safe discharge into the environment

Innovative wastewater treatment technologies offer significant benefits but come with challenges, such as high investment and maintenance for membrane systems, and sensitivity to environmental changes for biological methods. The optimal strategy balances efficiency, economics, and environmental safety, with hybrid systems gaining traction in the food industry.

Emerging trends include smart monitoring and real-time sensors for process optimization, enabling automated adjustments and early detection of issues. Energy efficiency is also crucial, with modern facilities adopting energy recovery solutions like biogas utilization and low-energy membrane systems to reduce their environmental footprint.

Compliance with EU directives, particularly the Water Framework Directive, is vital. Adopting advanced treatment in Ukraine not only meets international standards but also aids integration into the global food market. Currently, many Ukrainian food enterprises use outdated methods, but increasing alignment with EU standards and access to research are fostering the adoption of advanced technologies. Pilot projects show that integrating membrane and biological methods can reduce water consumption by 40% and significantly decrease pollutants.

Successful implementation requires collaboration between academia, research, and industry to develop tailored solutions and foster knowledge transfer. In conclusion, integrating advanced membrane technologies with biological treatment and energy recovery is key to sustainable wastewater management. Investments in innovative, energy-efficient systems and sludge valorization, aligned with European standards and circular economy principles, are essential for the food industry's competitiveness and long-term resilience.

СЛОБОДЯНИК В.Г. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ІНТЕГРАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ У ПОЛІГРАФІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ:
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДИ У ЛЬВОВІ***Національний університет «Львівська політехніка»**79000, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; valentyna.h.slobodanyk@lpnu.ua*

Abstract. The research examines the interrelation between water quality and the efficiency of the printing industry. Water is a critical component in various printing processes, including offset and flexographic technologies, where it directly affects paper properties, ink adhesion, and printing stability. Based on the results of water quality monitoring in Lviv, deviations in microbiological and chemical parameters were identified, which can cause additional risks for printing technologies and increase treatment costs. The research emphasizes the necessity of sustainable water use, modern purification methods, and wastewater treatment from printing facilities to minimize environmental impacts.

Вода є одним із ключових факторів стабільності поліграфічних процесів. У друкарській промисловості вона використовується для приготування зволожувальних розчинів у офсетному друці, промивання форм та обладнання, охолодження систем, а також у підготовці паперу та обробці поверхонь. Якість води визначає низку параметрів: кислотність, жорсткість, вміст домішок і мікроорганізмів, що безпосередньо впливає на стабільність друку, витрати фарби та довговічність друкарських форм.

Аналіз відкритих джерел водопостачання [1] у Львові, проведений у 2024–2025 рр., засвідчив випадки перевищення мікробіологічних показників і наявності хімічних домішок, що ускладнює використання води без попередньої обробки. Подібні характеристики можуть створювати проблеми в друкарських технологіях: від нестабільності балансу «фарба–вода» до появи плям та втрати якості зображення.

Проведений аналіз даних лабораторії Ecosoft (2024–2025 рр.) показав, що найбільші відхилення спостерігаються за такими показниками, як загальна твердість (у 25% проб), вміст заліза (у 30% проб) та запах (у 15% проб). Такі характеристики є критичними для виробничого процесу, оскільки підвищена твердість спричиняє відкладення солей на друкарському обладнанні, а підвищений вміст заліза може призводити до зміни відтінків фарб та появи дефектів друку. Показник мутності у 10% проб також свідчить про необхідність попереднього доочищення води перед застосуванням у поліграфічних технологіях. За результатами аналізу проб води у Львові встановлено, що приблизно третина випадків перевищує норми за окремими показниками (передусім твердість і залізо), що створює додаткові ризики для стабільності процесів друку. Це підтверджує необхідність адаптації системи водопідготовки спеціально для поліграфічного виробництва.

Для поліграфічної галузі результати аналізу якості води у Львові свідчать про необхідність впровадження локальних систем очищення, зокрема застосування фільтрів для зниження жорсткості та вмісту заліза, а також мембранних технологій, таких як зворотний осмос, що забезпечують стабільні параметри зволожувальних розчинів. Важливим є регулярний моніторинг складу води, адже власні лабораторні перевірки дозволяють адаптувати технологічні режими під фактичні відхилення показників. Доцільно впроваджувати часткову рециркуляцію очищеної води для технічних потреб, що одночасно зменшить витрати реагентів і стабілізує виробничі процеси. Не менш значущим аспектом є екологічна безпека, яка потребує вдосконалення систем очищення стічних вод друкарських цехів та розроблення замкненого водного циклу. Такий підхід дає змогу мінімізувати негативний вплив на довкілля, знизити виробничі ризики, підвищити якість друку та забезпечити ресурсоефективність підприємств.

У перспективі доцільно здійснити порівняльний аналіз якості води та її впливу на поліграфічні процеси в інших великих містах України (Одеса, Харків, Київ), що дозволить сформулювати більш повне уявлення про регіональні особливості та визначити універсальні підходи до водопідготовки в друкарській промисловості.

[1] Результати вимірювань якості води у ставках та струмках на території Львівської МТГ (дані моніторингу). *Львівська міська рада*. URL: <https://opendata.city-adm.lviv.ua/lv/dataset/48e4f730-93f3-4f47-be7d-820eea3e46d9> (дата звернення: 24.09.2025).

[2] Кузьмінчук А. Якість води у Львові. *Ecosoft*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/kachestvo-vody-vo-lvove/?srsltid=AfmBOooOBx2CMLE0C6WtzCkSj6x2qOBxJQnWustJL0i58otcLCqXP5n8> (дата звернення: 24.09.2025).

ЛИННИК Д.О., КОЦЮБИНСЬКИЙ А.О.,
ГРИЦУЛЯК Г.М. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
76019, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, admin@nung.edu.ua

Abstract. A comprehensive analysis of water resources pollution has been conducted and it has been established that the adsorption method is one of the most effective ways for wastewater treatment. The high adsorption efficiency of the synthesized materials has been experimentally confirmed. The studies were carried out on model solutions of methylene blue as a test pollutant. It has been established that magnetic nanocomposites based on carbon demonstrate the highest purification efficiency, which is explained by the synergetic effect of combining the adsorption properties of activated carbon with the magnetic characteristics of nanoparticles. A significant advantage of magnetic nanocomposites is the possibility of rapid and efficient separation of magnetic adsorbents from purified water using an external magnetic field.

Однією з найбільш гострих проблем сьогодення є забруднення водних ресурсів токсичними речовинами. Забруднення водою призводить до поступової деградації та загибелі водних та берегових екосистем. Вживання води, що не відповідає нормативним вимогам є небезпечним для здоров'я населення. Однією з основних причин забруднення поверхневих вод є скиди неочищених або недостатньо очищених стічних вод. Більшість методів є дорого вартісними та складними у реалізації, що створює проблему у їх запровадженні. Звідси виникає потреба пошуку технології очистки стічних вод, яка задовольнятиме ключові передумови: рентабельність, ефективність, екологічність.

Біовугілля є ефективним адсорбентом, що може використовуватися для очистки стічних вод. Проте, відділення відпрацьованого адсорбенту від очищеної води є складним процесом. Магнітні композити Fe₂O₃/BC демонструють високу ефективність видалення забруднювачів з води. Магнітні композити вирішують проблему відділення відпрацьованого адсорбенту від води. Магнітні наноккомпозити на основі біовугілля поєднують екологічні та технологічними переваги. Для дослідження адсорбційних властивостей магнітних наноккомпозитів на основі вугілля було закладено дослідження на предмет адсорбції метиленового синього.

Для вивчення адсорбційних властивостей синтезованих адсорбентів дослідження проводилися з використанням модельних розчинів з різними концентраціями метиленового синього. Синтезовані адсорбенти вугілля модифіковані магнітними наночастинками було поміщено у модельні розчини. Визначення ефективності адсорбції метиленового синього проводили шляхом вимірювання інтенсивності забарвлення до і після реакції на UV-VIS спектрофотометрі Shimadzu UV-1900i. За допомогою калібрувального графіка було визначено концентрації метиленового синього у дослідних зразках. Концентрацію барвника та відсоток видалення до і після адсорбції наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Ефективність адсорбції досліджуваними матеріалами.

Матеріал	Після очищення	До очищення	Відсоток видалення
BC/Fe ₃ O ₄ , (10 ⁻⁵)	5,1237E-06	0,00001	48,763019
AC/Fe ₃ O ₄ , pH=10, (10 ⁻⁵)	3,4124E-07	0,00001	96,587579
AC/Fe ₃ O ₄ , pH=7, (10 ⁻⁵)	3,4788E-07	0,00001	96,521156
AC/Fe ₃ O ₄ , pH=10, (10 ⁻⁶)	4,4255E-07	0,000001	55,74507
BC/Fe ₃ O ₄ , (10 ⁻⁶)	2,6985E-07	0,000001	73,01505
AC/Fe ₃ O ₄ , pH=7, (10 ⁻⁶)	1,7022E-07	0,000001	82,9785
AC, (10 ⁻⁶)	3,0306E-07	0,000001	69,6939
BC/Fe ₃ O ₄ , (10 ⁻⁷)	4,3591E-08	1E-07	56,4093
MB, (10 ⁻⁷) (контроль)	1,01E-07	1E-07	0

Відсоток видалення барвника оцінюється як основний показник ефективності очищення модельного розчину від метиленового синього. Найліпші результати спостерігаються при адсорбції барвника магнітними наноккомпозитами на основі активованого вугілля. Максимальний відсоток видалення продемонстрував адсорбент AC/Fe₃O₄. Результати роботи демонструють перспективність використання відходів рослинництва для створення ефективних біоадсорбентів та їх модифікації для отримання магнітних наноккомпозитів з покращеними експлуатаційними характеристиками.

БОНДАРЧУК О.Ю.¹, КУРОЧЕНКО М.О.², ШАХНОВСЬКИЙ А.М.¹,
МОКІЄНКО А.В.³, СПАСЬОНОВА Л.М.¹ (УКРАЇНА, КИЇВ-ОСТРОГ)

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ**

¹Національний технічний університет України, «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського», 03056, просп. Берестейський, 37, Київ, Україна;

²Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, 04053,
вул. Бульварно-Кудрявська, 18/2, Київ, Україна;

³Національний університет «Острозька академія»,
35800, вул. Семінарська, 2, Острозь, Україна;

Bondarchukau@gmail.com

Abstract. Experimental-statistical modeling and the response surface methodology were applied to study the technological features of the water disinfection process with chlorine dioxide at a water treatment plant in Ukraine. Empirical models were developed and implemented to describe the formation of water treatment by-products, namely the residual chlorine dioxide dose and the chlorite content in the treated water.

В Україні, де внаслідок воєнних дій значна частина водної інфраструктури зазнає пошкоджень, а ризики хімічного та біологічного забруднення поверхневих і підземних вод різко зростають, проблема ефективної водопідготовки постає з новою гостротою. Наявність у воді забруднюючих домішок, включаючи токсичні сполуки антропогенного походження, суттєво ускладнює процеси знезараження.

Традиційні поширені методи, зокрема хлорування, виявляють суттєві обмеження, пов'язані з утворенням побічних продуктів дезінфекції (Disinfection By-Products, DBPs), таких, зокрема, як тригалометани чи хлорити. DBPs проявляють канцерогенні, токсичні властивості, що значно знижує санітарну й екологічну ефективність класичних технологій водопідготовки. У цьому контексті актуальним є використання діоксиду хлору (ClO_2) як альтернативного дезінфектанта, що демонструє високу ефективність у знешкодженні патогенних мікроорганізмів, а також характеризується меншою схильністю до утворення хлорорганічних побічних продуктів у порівнянні з молекулярним хлором [1]. Водночас вказаний реагент не позбавлений і недоліків, зокрема, у процесі обробки води діоксидом хлору утворюються інші небажані сполуки (передусім, хлорити та хлорати) [1, 2].

Тому для широкого впровадження технологій, заснованих на ClO_2 , потрібні системні дослідження закономірностей утворення DBPs, зокрема, створення моделей, які дозволяють ефективно прогнозувати якість води після знезараження. Такий системний підхід набуває актуальності в умовах сучасних викликів – техногенного та військового навантаження на водні ресурси України, а також у контексті інтеграції у європейський науково-технічний простір.

Використання комп'ютерних моделей у системах моніторингу та прогнозування відкриває нові можливості для ефективного керування процесами знезараження. Завдяки моделюванню можна оцінити вплив комплексу фізико-хімічних параметрів на кінцеву якість води, оптимізувати режими дозування реагентів та знизити екологічні ризики, пов'язані з утворенням токсичних побічних продуктів.

Для дослідження складних багатофакторних процесів, до яких належить і утворення побічних продуктів при знезараженні води діоксидом хлору, особливо ефективним є експериментально-статистичний підхід, відомий як методологія поверхні відгуку (Response Surface Methodology, RSM), який дозволяє вивчати вплив одночасно конкретних технологічних факторів (які характеризують дозу реагента та умови проведення процесу) на цільові показники процесу знезараження води [4].

У представленому дослідженні, слідуючи [3], було взято до розгляду наступні фактори: pH середовища (фактор x_1), температура (x_2), доза діоксиду хлору (x_3), тривалість процесу (x_4); в якості комплексного показника забрудненості води на даному етапі обрано вміст органічних речовин (ХПК) – x_5 . Показниками якості процесу було обрано: залишкову дозу ClO_2 (y_1) та вміст хлоритів у очищеній воді (y_1).

Для вказаних факторів x_1 – x_5 було складено план активного експерименту, який було реалізовано у лабораторно-промислових умовах.

Отримані значення відгуків y_1 , y_2 було використано для визначення параметрів експериментально-статистичних моделей вигляду (1) – поліноміальних емпіричних рівнянь,

покликаних кількісно описати (прогнозувати) формування побічних продуктів в процесі очищення води.

$$y_j = a_0 + \sum_i a_i \cdot x_i + \sum_k \sum_k a_k \cdot x_k \cdot x_k \quad (1)$$

де x_i – технологічні фактори ($i=1, \dots, 5$), y_j – технологічні відгуки ($j=1, 2$), a_k – коефіцієнти поліноміальних моделей ($k=0, 1, \dots$; граничне значення k , тобто кількість доданків моделі, визначається значимістю коефіцієнтів).

Деякі характерні розрахункові поверхні відгуку наведено на рис. 1. Слід зазначити, що під час побудови поверхонь відгуку (рис. 1) фактори, не вказані на діаграмах, було зафіксовано на постійному рівні.

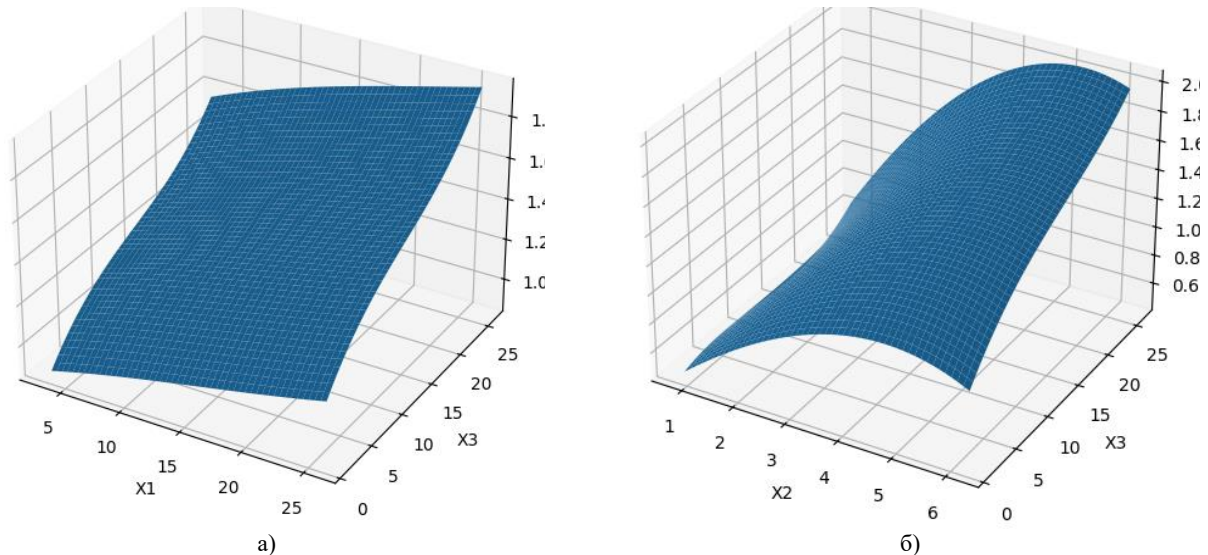


Рис. 1. Поверхні відгуку для процесів знезараження води діоксидом хлору:
а – обсяг утворення хлоритів в залежності від рН середовища (x_1) та дози діоксиду хлору (x_3);
б – обсяг утворення хлоритів в залежності від температури процесу (x_2) та дози діоксиду хлору (x_3).

Таким чином, застосування експериментально-статистичного підходу, зокрема методології аналізу поверхні відгуку, забезпечує наукове підґрунтя для створення емпіричних моделей, що описують утворення побічних продуктів очищення води.

Реалізація поставлених завдань сприяє не лише підвищенню безпеки питної води, а й розвитку цифрових інструментів моніторингу, необхідних для екологічної безпеки в Україні та у світовому масштабі.

- [1] Мокієнко, А. *Діоксид хлору*. Монографія. Т. 1. 2025. 611 с. URL: https://eprints.oa.edu.ua/id/eprint/9664/1/Dioksyd_hloru_T.1.pdf.
- [2] Li, X.; Chen, C.; Zhang, Y., et al. Formation and control of disinfection byproducts during chlorine dioxide disinfection: A review. *Chemosphere*. 2000 Oct; *41*(8):1181-6. DOI: 10.1016/s0045-6535(00)00010-2.
- [3] Korn, C.; Andrews, R. C.; Escobar, M. D. Development of chlorine dioxide-related by-product models for drinking water treatment. *Water Research* 2002, *36*(1): 330–342. DOI: 10.1016/s0043-1354(01)00194-4
- [4] Saha, J.; Raul, P.; Gupta, S. K. Application of response surface methodology for optimization of an onsite electro-chlorinator for drinking water treatment. *Ionics*. 2018. *24*(1): 1-12. DOI: 10.1007/s11581-017-2430-1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ В ТРУБАХ

*Національний університет водного господарства та природокористування
33000, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна; l.r.volk@nuwm.edu.ua*

Abstract. Based on the dimensional analysis method, a general mathematical model for determining the friction factor in the pre-quadratic turbulence region was obtained. Statistical processing of experimental data from hydraulic studies of pipes with uniform granular roughness by J. Nikuradze was performed.

Результатом приведених в даній роботі досліджень є отримання загальної математичної моделі для визначення коефіцієнта гідравлічного опору в області доквадратичного опору при турбулентному режимі на основі методу аналізу розмірностей.

Для розробки загального методу кількісного врахування втрат напору в потоці реальної рідини необхідно виявити залежність сил тертя на внутрішній поверхні стінки труби від основних діючих факторів. Такими основними факторами є густина рідини ρ , динамічна в'язкість μ , гідравлічний радіус потоку R , осереднена висота виступів шорсткості k та середня швидкість потоку $\bar{u}$. Трубопроводи працюють при турбулентному режимі здебільшого в області доквадратичного опору. При візуальному аналізі графіків, які характеризують залежність коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса в межах доквадратичної області (графік Й. Нікурадзе), очевидним є те, що між ними існує геометрична подібність. Це можна пояснюється тим, що технологія створення внутрішньої поверхні в цих трубах була однаковою. Вона в кожному випадку створювалась шляхом покриття її піском прийнятого діаметру. При цьому в якості характеристики гладкості внутрішньої поверхні труб Й. Нікурадзе прийняв відношення геометричних величин r_0/k . З графіка Й. Нікурадзе видно, що відношення r_0/k й число Рейнольдса Re однозначно визначають форму і положення графіків $lg(100\lambda) = f(r_0/k, lg Re)$. При цьому необхідно зауважити, що дослідження Й. Нікурадзе виконував на трубах різного діаметру і з різною середньою висотою виступів шорсткості k .

Тоді за дослідженнями автора, математичну модель за визначенням значення коефіцієнта Дарсі для труб в області доквадратичного опору, та фіксованих значень показника степені n можна представити сумую доданків

$$\lambda_{oko} = \frac{k}{r_0} \left(\frac{K_1}{Re^{0.75}} - \frac{K_2}{Re^{0.5}} + \frac{K_3}{Re^{0.25}} \right). \quad (1)$$

Кожен доданок математичної моделі (1) має невідомий коефіцієнт K_i . Ці коефіцієнти визначені методом найменших квадратів на основі статистичної обробки експериментальних даних.

Розрахункові критерії Фішера у всіх випадках були менші за табличні, що підтвердило з надійністю 95 % адекватність математичної моделі авторів (1) дослідним даним в області доквадратичного опору, які були отримані на основі гідравлічних досліджень Й. Нікурадзе.

На основі виконаної обробки даних визначено, що зміна від гладкості внутрішньої поверхні труби коефіцієнтів K_1 і K_2 за параболічним законом і коефіцієнта K_3 за лінійним законом підтверджує прийняту гіпотезу, що графіки $lg(100\lambda) = f(r_0/k, lg Re)$ між собою подібні і описуються за запропонованою авторами математичною моделлю (1).

Отже, для розробки загального методу кількісного врахування втрат напору в потоці реальної рідини на основі методу аналізу розмірностей, встановлено математичне рівняння залежності сил тертя на внутрішній поверхні стінки труби від основних діючих факторів, а саме шорсткості внутрішньої поверхні труби k/r_0 й ступеню турбулентності потоку, який визначається числом Рейнольдса.

КРУСІР Г.^{1,2}, КУПРІЯШКІНА О.² (SWITZERLAND, MUTTENZ; УКРАЇНА, ОДЕСА)

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЧАРУ РИСОВОГО ЛУШПИННЯ В ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВІСНИХ СТІЧНИХ ВОД

¹*University of Applied Sciences und Arts Northwestern Switzerland, Switzerland
Хофакерштрассе, 30, 4132, Муттенц, Швейцарія*²*Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна
вулиця Канатна, 112, Одеса, Одеська область, 65039, lenakupe@ukr.net*

Abstract. Ukraine is one of the world's leading producers of rice grain, so the issue of incorporating processing waste into the production cycle is very urgent. Rice husks are a promising raw material for producing biochar. There are many different methods of producing biochar, and they all differ in terms of the temperature and duration of exposure of the raw material in the reactor. Among the well-known methods of biochar synthesis are fast pyrolysis (300-700°C) and moderate pyrolysis (500-1000°C), gasification (750-900°C), hydrothermal carbonization (180–300°C), flash carbonization (300–600°C), torrefaction (200–300°C), microwave irradiation, etc. One of the most promising carriers for immobilizing biologically active substances are carbon sorption materials (biofuels) from lignocellulosic waste. The use of new types of renewable raw materials, such as agricultural waste, to obtain carriers for immobilizing biologically active substances is relevant from both a scientific and practical point of view.

Біопаливо з рисового лушпиння (РНВ) - це недорогий і відновлюваний ресурс, який виявився досить ефективним для відновлення водного та ґрунтового середовища. Його вихід, структуру, склад і фізико-хімічні властивості можна змінювати шляхом зміни параметрів процесу приготування, таких як швидкість нагрівання, температура піролізу та швидкість потоку газу-носія. Крім того, за допомогою фізичних, хімічних і біологічних засобів можна змінювати специфічну площу поверхні та функціональні групи. Порівняно з біовугіллям з іншої сировини, біочар з рисового лушпиння погано працює в розчинах з металами, але його можна модифікувати для покращення адсорбції.

Термохімічне перетворення палива з біомаси є три основні режими: горіння, газифікація та піроліз. Основними продуктами спалювання та повільного піролізу є біовугілля, а основними продуктами газифікації та швидкого піролізу - біомаса та біогаз.

Оскільки рисове лушпиння піддається різним хімічним реакціям за різних умов, параметри процесу (головним чином, температура піролізу, швидкість нагрівання та швидкість потоку газу-носія) мають великий вплив на вихід, структуру, склад та властивості біочару. У певному температурному діапазоні питома поверхня і пористість біочару рисового лушпиння збільшуються з підвищенням температури піролізу, що, швидше за все, пов'язано з розкладанням органічної речовини і утворенням мікропор. Крім того, було також показано, що високі температури піролізу сприяють утворенню основних функціональних груп. Це пояснюється тим, що з підвищенням температури піролізу целюлоза і геміцелюлоза починають деградувати і утворюються деякі нові функціональні групи (наприклад, карбоксильні, лактонові, лактонові спирти, хінін, хром і т.д.). При більш високій температурі піролізу (>500°C) лігнін та інші важкорозкладні органічні речовини починають розкладатися, окислені кислі функціональні групи (наприклад, карбоксильні) видаляються у великих кількостях, а кількість основних функціональних груп збільшується, що призводить до утворення нових кислот, таких як хінний спирт, хінон, хром.

Враховуючи те, що забруднення води становить серйозну загрозу для довкілля та здоров'я людей через своє швидке поширення, мобільність та вплив, тому ефективне усунення забруднення водних об'єктів та очищення нафтовмісних стічних вод вже багато років викликає занепокоєння. Рисовий біочар широко використовується для адсорбції важких металів, нафти, нафтопродуктів та органічних речовин у воді завдяки своїй стабільності, придатності до вторинної переробки та адсорбційній здатності. Для цього в своїх наукових дослідженнях ми приділили увагу мікробній модифікації на біочарі рисового лушпиння, яке використовують мікроорганізми та діють синергічно з біочаром, щоб значно покращити адсорбційну здатність та ефективність очищення від цільових забруднювачів. Біочар рисового лушпиння використовується для розміщення бактерій, які починають розмножуватися всередині або на поверхні біочару при ідеальній температурі та наявності достатньої кількості поживних речовин для формування плівки на поверхні біочару рисового лушпиння.

Мікроорганізми використовують позаклітинні ферменти для перетворення деяких важкорозкладних органічних речовин у легко розкладні. Потім вони перетворюють органічні речовини,

що легко розкладаються, на біомасу, вуглекислий газ та інші речовини. Нарешті, біочар видаляє вищезгадані речовини шляхом адсорбції. Мікробна модифікація покращує фізико-хімічні властивості, такі як структура, окислювально-відновний потенціал і рН. В своїх дослідженнях нами було використувано консорціум бактерій з ґрунту, який був раніше забруднений нафтопродуктами в результаті розливу нафти на промисловому майданчику для модифікації на біочарі з рисового лушпиння, що покращило адсорбційну здатність відповідно до результатів дослідження.

Таким чином, за результатами скринінгу виділені з забруднених зразків ґрунту мікроорганізми здатні проводити біодеградацію довголанцюгових алканів нафтових вуглеводнів. Визначені групи мікроорганізмів можна розташувати в наступній послідовності за збільшенням цього показника: *Bacillus subtilis* та *Paenibacillus macerans* < *Paenibacillus polymyxa* < *Bacillus licheniformis* < *Bacillus thuringiensis* < *Bacillus megaterium* < *Bacillus pumilis* < *Bacillus cereus* < *Paenibacillus circulans*. Найбільш перспективними штамами визначено *Paenibacillus circulans* та *Bacillus cereus*, які біотрансформують до 48 відсотків від загальної кількості вуглеводнів.

Хоча іммобілізація мікроорганізмів є привабливою стратегією щодо очищення нафтовмісних стоків, існує кілька пов'язаних з нею проблем, включаючи складність операцій, стабільність матриці, характеристики стічних вод, наявність декількох забруднювачів, проектування процесів для промислових і великомасштабних операцій, обмеження масопереносу субстратів в іммобілізовані клітини, накопичення токсичних продуктів метаболізму навколо клітин через низьку швидкість дифузії (що може гальмувати ріст мікроорганізмів) та утворення товстого шару біоплівки, яка може блокувати пори кульок і перешкоджати транспортуванню субстрату з рідини до іммобілізованих клітин. Незважаючи на ці проблеми, дослідження в цій галузі продовжують просуватися, щоб ще більше з'ясувати та вдосконалити ці процеси.

- [1] Gholizadeh, M.; Hu, X. Removal of heavy metals from soil with biochar composite: A critical review of the mechanism. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021, 9, 105830.
- [2] Sun, X.; Xu, L.; Jiang, W.; Xuan, Y.; Lu, W.; Li, Z.; Yang, S.; Gu, Z. Adsorption mechanism of rhine-coated Fe₃O₄ as magnetic adsorbent based on low-field NMR. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021, 28, 1052–1060.
- [3] Ke, W.; Zeng, J.; Zhu, F.; Luo, X.; Feng, J.; He, J.; Xue, S. Geochemical partitioning and spatial distribution of heavy metals in soils contaminated by lead smelting. *Environ. Pollut.* 2022, 307, 119486.
- [4] Qiu, B.; Tao, X.; Wang, H.; Li, W.; Ding, X.; Chu, H. Biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal: A review. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 2021, 155, 105081.
- [5] Jjagwe, J.; Olupot, P.W.; Menya, E.; Kalibbala, H.M. Synthesis and Application of Granular Activated Carbon from Biomass Waste Materials for Water Treatment: A Review. *J. Bioresour. Bioprod.* 2021, 6, 292–322.
- [6] Selvaranjan, K.; Navaratnam, S.; Gamage, J.; Thamboo, J.; Siddique, R.; Zhang, J.; Zhang, G. Thermal and environmental impact analysis of rice husk ash-based mortar as insulating wall plaster. *Constr. Build. Mater.* 2021, 283, 122744.
- [7] Zhang, X.; Gao, Z.; Fan, X.; Tan, L.; Jiang, Y.; Zheng, W.; Han, F.X.; Liang, Y. A comparative study on adsorption of cadmium and lead by hydrochars and biochars derived from rice husk and *Zizania latifolia* straw. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022, 1–14.
- [8] Chaillan, F.; Fléchi, A.L.; Bury, E.; Phantavong, Y.; Grimont, P.; Saliot, A.; Oudot, J. 2004. Identification and biodegradation potential of tropical aerobic hydrocarbon-degrading microorganisms. *Res. Microbiol.* 155, 587–595. doi: [10.1016/j.resmic.2004.04.006](https://doi.org/10.1016/j.resmic.2004.04.006).

ГРИЦУЛЯК Г.М., ГРИЦУЛЯК В.М. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76000, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна;
gritsulyaka@ukr.net

Abstract. В умовах воєнних дій екологічна безпека набуває особливої ваги, оскільки військові дії безпосередньо впливають на якість та доступність водних ресурсів. Руйнування інфраструктури (водогонів, очисних споруд, дамб), забруднення річок і ґрунтових вод внаслідок потрапляння паливно-мастильних матеріалів, вибухових речовин, важких металів та побутових відходів створюють значні ризики для здоров'я населення та функціонування екосистем.

Військові конфлікти призводять до зростання навантаження на природні водні системи: забруднені води стають джерелом епідеміологічних загроз, погіршується санітарно-гігієнічний стан населених пунктів, зростає ризик дефіциту безпечної питної води. Водночас, пошкодження систем моніторингу та управління ускладнює оперативне реагування на екологічні інциденти. Тема є надзвичайно актуальною для України, де воєнні дії призвели до масштабних руйнувань, у тому числі й водної інфраструктури. Управління ризиками забруднення води дозволяє мінімізувати негативні наслідки для здоров'я людей, забезпечити екологічну безпеку та створити основу для відновлення і сталого використання водних ресурсів у післявоєнний період.

Таким чином, дослідження проблеми управління ризиками забруднення води в умовах воєнних дій має не лише наукове, а й прикладне значення, оскільки результати можуть бути використані для розробки ефективних стратегій реагування, систем моніторингу та відновлення екологічної рівноваги.

Категорії джерел ризику забруднення води в умовах воєнних дій охоплюють кілька основних напрямів. Одним із найбільш небезпечних є зруйновані склади паливно-мастильних матеріалів, що становлять загрозу витоку нафтопродуктів у ґрунтові та поверхневі води. Значний ризик становлять і промислові підприємства, на яких унаслідок пошкоджень може відбутися вивільнення важких металів та токсичних хімікатів у довкілля. Окрему категорію становлять місця бойових дій, де у водне середовище можуть потрапляти залишки снарядів, вибухівки, важкі метали та продукти горіння.

Відібрані проби води в Запорізькій області з різних точок річки, колодязя, водогона.

Таблиця 1

Результати аналізу води

Показник	Норма ВООЗ /ДСанПіН	Річка	Колодязь	Водогін
pH	6.5–8.5	6.8	7.1	7.3
Нітрати, мг/дм ³	≤ 50	45	78	32
Аміак, мг/дм ³	≤ 0.5	0.6	0.8	0.2
Свинець (Pb), мг/дм ³	≤ 0.01	0.02	0.01	0.005
Кадмій (Cd), мг/дм ³	≤ 0.003	0.005	0.004	0.001
Нафтопродукти, мг/дм ³	≤ 0.1	0.35	0.12	0.05
Коліформи, КУО/100 мл	0	120	350	10

Додатковим фактором є підтоплені території, які сприяють поширенню міських відходів, каналізаційних стоків, залишків мертвих тварин та інших органічних речовин, що створює небезпеку мікробіологічного та хімічного забруднення води.

Найбільш небезпечними територіями є:

1. Зони поблизу зруйнованих складів ПММ, де існує високий ризик потрапляння нафтопродуктів у річки та ґрунтові води.
2. Райони пошкоджених промислових підприємств, що можуть вивільняти важкі метали та токсичні хімікати.
3. Підтоплені населені пункти, де існує небезпека масового мікробіологічного забруднення води.

Ці території потребують першочергового моніторингу та застосування аварійних заходів із очищення й забезпечення населення альтернативними джерелами питної води.

Оцінка ризику для здоров'я. Експозиційні сценарії: питна (підземні води), рекреаційна (купання), побутове використання, іригація.

Доза впливу (ingestion):

$$CDI = (C * IR * EF * ED) / (BW * AT)$$

де C – концентрація (мг/л), IR – швидкість споживання, EF – частота впливу (днів/рік), ED – тривалість (роки), BW – маса тіла (кг), AT – період усереднення.

Індекс небезпеки (не канцерогенний):

$$HQ = CDI / RfD, \quad HI = \sum HQ$$

Канцерогенний ризик:

$$CR = CDI * SF, \quad \text{сукупний } \sum CR$$

Пороги інтерпретації: $HI > 1$ – неприйнятний; $CR > 1 \times 10^{-4}$ – високий, $10^{-6} - 10^{-4}$ – прийнятний діапазон з обмеженнями.

Невизначеність і Монте-Карло. Для ключових політантив (TPH, Pb, TNT) запускається 10 000 ітерацій Монте-Карло з випадковими розподілами C, IR, BW (логнормальні/нормальні), отримуються персентилі 5–95% для HQ, CR.

Для виявлення зв'язків між забруднювачами та показниками органічного/мікробіологічного забруднення застосовується ранговий коефіцієнт Спірмена (ρ).

Цей підхід дозволяє оцінити, чи супроводжується підвищення нафтопродуктів та важких металів збільшенням органічного та мікробного забруднення, що характерно для комбінованих аварійних скидів.

[1]. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 26 травня – 1 червня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39252.html>

[2]. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 19-25 травня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39238.html>

[3]. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 11-18 травня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39218.html>

[4]. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 4-10 травня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39210.html>

ЗАБАРА І.І., ПЛЯЦУК Л.Д., БАТАЛЬЦЕВ Є.В. (УКРАЇНА, СУМИ)

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ
АКТИВНОГО МУЛУ МЕТАБОЛІТАМИ ЦИКЛУ КРЕБСА В АЕРОТЕНКАХ
КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД**

Сумський державний університет

40007, вул. Харківська, 116, Суми, Україна; info@sumdu.edu.ua

Abstract. Under modern conditions, the traditional biological treatment technologies existing at most wastewater treatment plants in Ukraine do not allow for achieving stable operation of the facilities. An effective technology for the intensification of biological wastewater treatment from various types of pollutants is proposed. The method of biological induced activation of activated sludge microorganisms includes the collection of return activated sludge with its subsequent treatment by Krebs cycle metabolites and continuous aeration for 18-24 hours, followed by feeding with clarified wastewater and the introduction of the treated activated sludge into the aeration tanks.

Спосіб біологічної індукованої активації мікроорганізмів активного мулу метаболітами циклу Кребса здатний надавати комплексну дію на процеси біологічної очистки стічних вод та досягти стабільності функціонування біоценозу активного мулу.

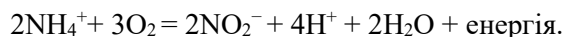
Біологічна індукована активація мікроорганізмів активного мулу дозволяє ще більше інтенсифікувати обмінні процеси в бактеріальних клітинах, і в кінцевому підсумку, поліпшити якість очищення стічних вод в аеротенку очисних споруд.

Активний мул очисних споруд виглядає як дрібні пластівці з кольором від молочно-коричневого до темно-коричневого, навіть чорного. Пластівці складаються з великої кількості багаточарових бактеріальних клітин, скріплених слизовим гелем. Механізм утворення пластівців активного мулу до теперішнього часу ще остаточно не з'ясований. Передбачається, що пластівці бактеріальних клітин утворюються в основному в результаті взаємодії полімерів, що виділяються бактеріальними клітинами або адсорбуються ними. Наукові дослідження показують, що активний мул має значну поверхню, величина якої досягає 100 м² на 1 г сухої речовини. Завдяки цьому активний мул має велику адсорбційну здатність [1].

В аеротенку проходить процес нітрифікації (окислення амонійного азоту до нітритів і нітратів), який здійснюється автотрофними мікроорганізмами. Необхідну для свого існування енергію ці мікроорганізми отримують в результаті окислювально-відновних реакцій, каталізуючи її за допомогою свого ферментативного апарату.

Нітрифікація є двоетапним біохімічним процесом, який відбувається за участю спеціалізованих бактерій в аеробних умовах.

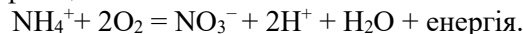
I етап нітрифікації здійснюється бактеріями типу *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* і виражається наступним рівнянням:



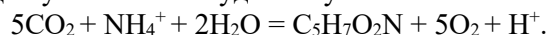
II етап нітрифікації здійснюється бактеріями типу *Nitrobacter*, *Nitrospira* і виражається наступним рівнянням:



Сумарне рівняння нітрифікації:



Якщо припустити, що $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ є емпіричною клітинною речовиною для нітрифікуючих бактерій, то реакція асиміляції вуглекислоти буде наступною:



З наведених рівнянь випливає, що при окисленні 20 мг/л амонійного азоту синтезується близько 3,3 мг/л клітинної маси. Кисень, спожитий на цей синтез, становитиме 84 мг/л. Близько 2% початкової кількості азоту йде на утворення клітинної маси, а решта окислюється в нітратний азот.

Серед всіх біохімічних процесів технології біологічного очищення стічних вод найбільш важливим є процес нітрифікації в аеротенках, що працюють на повне очищення, і є показником санітарної оцінки процесу очищення.

Для підвищення активності ферментів у біоти активного мулу використовується метод біологічної індукованої активації мулу, при якому мул обробляється стимулюючими агентами у вигляді карбонових кислот, які є одночасно метаболітами циклу Кребса.

Всі експерименти з обробки мулу метаболітами циклу Кребса (ЦТК) для біологічної стимуляції мікроорганізмів активного мулу були виконані в лабораторно-промислових умовах. В якості стимулюючих агентів для обробки активного мулу застосували послідовно два метаболіти: лимонну і бурштинову кислоти [2].

В лабораторних умовах обробляється не більше 20 дм³ зворотного активного мулу у наступній послідовності :

1. Для біологічної активації відбирається 20 дм³ активного мулу, який розміщується в шафі з витяжною вентиляцією та аерується безперервно мікрокомпресором. Активний мул до обробки не підгодовується.

2. Попередньо відбирається проба на мікроскопічне дослідження фізіологічного стану мікроорганізмів активного мулу до обробки метаболітами ЦТК.

3. В лабораторну ємність (культиватор) об'ємом 20 см³ з аерованим активним мулом послідовно додаються метаболіти ЦТК (лимонна та бурштинова кислоти) оптимальної концентрації.

Суміш аерується протягом 18–24 годин.

4. Через добу в оброблений мул додають: 200 см³ освітлених стічних вод (підгодівля); розчин вітамінів групи В та розчин малонової кислоти . Суміш аерується 3–5 годин.

5. Після проведення підросування активного мулу відбирається проба на мікроскопічне дослідження для визначення фізіологічного стану мікроорганізмів.

6. Обов'язково мікроскопічні дослідження проводяться до і після біологічної активації мулу. За позитивним висновком мікроскопування оброблена мулова суміш додається в регенератори аеротенків, безпосередньо в зону подачі зворотного мулу.

Отриманий ефект в аеротенках реєструється через 5–10 діб по підвищенню ефекту очищення за основними хімічними показниками та збільшенню видового складу мікроорганізмів активного мулу. Повторні обробки (по тій же схемі) обов'язкові, їх повинно бути 2–3 з інтервалом 7–10 днів.

Для підтвердження ефективності біологічної стимуляції бактерій активного мулу метаболітами ЦТК, було виконано визначення дегідрогеназної активності ферментоутворення активного мулу за розробленою методикою УКРНДІЕП (м. Харків) [3].

Токсичність стічної води або ефективність процесу біологічної очистки визначають за інтенсивністю забарвлення проб, які отримані у результаті окисно-відновлених реакцій. Збільшення ферменту дегідрогенази призводить до збільшення червоного кольору досліджуваної проби, тим самим показує збільшення деструкції забруднень в стічній воді мікроорганізмами.

Проведення мікроскопічного дослідження.

Характеристика активного мулу після проведення 3-х етапів біологічної індукованої активації біомаси аеротенків очисних споруд: 1. Пластівці АМ буро-коричневого кольору, середнього розміру, осідають швидко. 2. Надмулова вода прозора. 3. Присутні: голі та раковинні амеби; колоніальні та поодинокі інфузорії; сисні інфузорії; чревоїчкові та рівновійкові вільноплаваючі інфузорії; коловертки та черви. 4. Виявлено нитчасті бактерії: Тип 1701 – помірна кількість; *Microthrix parvicella* – помірна кількість; сіркобактерії Тип 021N – помірна кількість. 5. Всі індикаторні мікроорганізми фіксуються в задовільному стані. Висновок: біоценоз АМ має високе видове різноманіття і оцінюється як достатній.

Висновки. Запропоновано ефективний спосіб інтенсифікації біологічної очистки стічних вод від різних забруднень. Застосування метаболітів ЦТК здатне надавати комплексну дію на процеси очищення: підвищувати ферментоутворення, пригнічувати розвиток нитчастих бактерій, підвищувати стійкість до токсичних забруднень.

Запропонована технологія не вимагає зміни конструкцій аеротенків, не призводить до додаткового забруднення річок, є екологічно безпечною. Введення метаболітів ЦТК доцільно здійснювати з обов'язковим гідробіологічним контролем і вносити активовану суміш аеробних бактерій в регенератори аеротенків.

[1] Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», – 2002. – 622 с.

[2] Спосіб біологічної індукованої активації мікроорганізмів активного мулу. Патент на корисну модель України №153846 від 06.09.2023 р.

[3] Використання експрес-методу з визначення ферментативної активності мікроорганізмів активного мулу на очисних спорудах КП «Міськводоканал». – Харків: УКРНДІЕП., – 2017. – 11 с.

ПАНАС Н.Є., ХІРІВСЬКИЙ П.Р. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ВОДОЙМ: ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

79010, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна; panas_natali@ukr.net

Abstract. Revitalization of water bodies aims to restore natural ecosystem functions, improve water quality, and preserve biodiversity. Degradation is caused by anthropogenic pressure, eutrophication, sedimentation, and pollution. Restoration methods include hydraulic, biotechnological, chemical, and ecological approaches. For small urban water bodies, innovative solutions such as floating phytoplatforms, compact aeration systems, and biofiltration using hydrophytes provide efficient, low-impact water purification and enhance recreational value. These technologies stabilize aquatic ecosystems and improve water clarity. Effective revitalization requires an integrated approach, collaboration among scientists, authorities, businesses, and communities, as well as consistent long-term environmental monitoring to maintain results.

Ревіталізація водойм є ключовим напрямом сучасної екологічної політики, спрямованим на відновлення природних функцій водних екосистем, збереження біорізноманіття та підвищення якості водних ресурсів. Деградація водойм зумовлена антропогенним навантаженням, евтрофікацією, замуленням, накопиченням органічних і хімічних забруднювачів, а також змінами гідрологічного режиму. Погіршення стану водних об'єктів призводить до порушення стабільності гідробіоценозів та зниження рекреаційного потенціалу водойм, що потребує комплексного підходу до їх відновлення.

Для ревіталізації водойм застосовуються різноманітні технології. Гідротехнічні заходи включають очищення від мулових відкладів, розчищення русел і прибережних зон, облаштування захисних смуг. Біотехнологічні методи передбачають використання гідрофітів для природної фільтрації води, створення біоплато та біоманіпуляцію, тобто регуляцію видового складу риб з метою контролю розвитку фітопланктону. Хімічні підходи включають застосування сорбентів і реагентів для зв'язування фосфатів, важких металів та інших забруднювачів, а також корекцію кислотно-лужного балансу води. Екологічне відновлення здійснюється шляхом рекультивації берегових зон, відновлення заплавної екосистем і створення буферних смуг, що зменшують надходження поживних речовин.

Для невеликих водойм у межах населених пунктів особливо ефективними є інноваційні технології, що поєднують простоту монтажу, відносну дешевизну та високу екологічну результативність. Одним із найбільш перспективних рішень є плаваючі фітоплатформи, або так звані «плаваючі острови», на яких висаджують вищі водні та прибережні рослини. Такі конструкції не лише виконують функцію біофільтра, поглинаючи надлишкові нітрати, фосфати та важкі метали, а й сприяють формуванню нових осередків біорізноманіття, забезпечують притулок і кормову базу для водоплавних птахів та безхребетних, а також покращують естетичний вигляд водойм, створюючи додаткові зелені зони в міському середовищі.

Не менш важливими є компактні системи аерації, які можуть встановлюватися як у вигляді плаваючих модулів, так і на берегових станціях. Їх застосування забезпечує насичення води киснем, що особливо актуально в літній період при високій температурі, коли зростає ризик виникнення «заморних» явищ. Аерація не лише покращує якість води, а й створює динамічні умови для розвитку стабільних гідробіоценозів, запобігає утворенню анаеробних зон у донних відкладеннях та зменшує інтенсивність неприємних запахів.

Ефективним доповненням до цих методів виступають біофільтраційні системи на основі гідрофітів — очерету, рогозу чи осоки. Вони формують природні прибережні буферні смуги, здатні затримувати надлишкові поживні речовини, запобігаючи «цвітінню» води та розвитку ціанобактерій. Такі смуги також сприяють укріпленню берегів і зменшують ерозійні процеси.

Для локальної очистки води застосовують малі сорбенти та природні адсорбенти — активоване вугілля, торф, цеоліти або спеціальні гідрогелі. Вони ефективно видаляють розчинені органічні сполуки, фосфати й важкі метали, дозволяючи швидко досягати помітного поліпшення якості води без масштабних втручань.

Особливу увагу привертають інноваційні міні-плаваючі модулі нового покоління, що поєднують функції аерації та біофільтрації в єдиній конструкції. Завдяки своїй мобільності та компактності такі системи можуть застосовуватися навіть у невеликих ставках чи декоративних водоймах, забезпечуючи

підтримку екологічного балансу без необхідності будівництва великих технічних споруд і залучення значних фінансових ресурсів.

Запропоновані інноваційні технології мають високу екологічну доцільність, оскільки базуються на принципах природного саморегулювання водних екосистем і мінімального техногенного втручання. Вони дозволяють скоротити обсяги використання хімічних реагентів, зменшити енергозатрати та забезпечити довготривале збереження досягнутого результату. Біотехнологічні рішення — плаваючі фітоплатформи, біофільтраційні системи на основі гідрофітів, міні-модулі з функціями аерації — формують стійкі біоценози, що самостійно підтримують процеси очищення та відновлення водойм. Такий підхід забезпечує не лише підвищення якості води, а й створює додаткову екологічну цінність: зростання біорізноманіття, покращення мікроклімату, рекреаційної привабливості та естетичного вигляду міських територій.

Особливої уваги заслуговує поєднання класичних методів із природоорієнтованими рішеннями, що забезпечує комплексний ефект. Наприклад, у Європі широко застосовуються так звані *constructed wetlands* — штучно створені системи з гідрофітів, які функціонують як біофільтри для очищення стічних і поверхневих вод. У Німеччині та Польщі ефективно діють програми ревіталізації малих річок і міських ставків із використанням фітоплатформ та біоаераційних систем. В Україні такі підходи можуть мати особливе значення для відновлення ставків у межах населених пунктів, адже більшість із них зазнали сильного замулення й втратили здатність до природного самоочищення.

Екологічна ефективність заходів полягає не лише у підвищенні прозорості та якості води, але й у стабілізації гідробіоценозів, збільшенні чисельності видів-індикаторів чистої води, а також у відновленні рекреаційного та соціально-культурного потенціалу водойм. Відновлені екосистеми сприяють покращенню мікроклімату навколишньої території, зменшенню ризику вторинного забруднення та відновленню природних процесів самоочищення. Ревіталізовані водойми стають осередками біорізноманіття, приваблюючи птахів, комах та інші види, що позитивно впливає на екологічну рівновагу. Крім того, вони створюють умови для розвитку екотуризму, освітніх програм і формування екологічної свідомості населення, що є важливою передумовою сталого природокористування.

Перспективи впровадження таких заходів безпосередньо залежать від міжсекторальної співпраці — інтеграції наукових досліджень, управлінських рішень, бізнес-ініціатив та активності місцевих громад. Синергія між цими складовими створює умови для ефективного планування та реалізації екологічних програм, а також забезпечує фінансову та організаційну підтримку. Важливим є створення системи постійного екологічного моніторингу, яка дозволить оцінювати ефективність впроваджених технологій у довгостроковій перспективі, визначати динаміку якості води та своєчасно коригувати природоохоронні стратегії. Такий підхід сприятиме не лише відновленню окремих водойм, але й формуванню стійкої екологічної політики на регіональному та національному рівнях.

Важливою складовою є також залучення громад до процесу ревіталізації. На практиці створення прибережних буферних смуг або встановлення фітоплатформ може здійснюватися за участю місцевих жителів, екологічних організацій та освітніх установ. Це не лише знижує фінансове навантаження, а й формує у населення відповідальне ставлення до довкілля. Окрім того, водойми після відновлення можуть використовуватися як навчальні майданчики для екологічної освіти школярів і студентів.

Запровадження інноваційних рішень дозволяє значно знизити витрати на традиційні методи очищення, мінімізувати використання хімічних реагентів та створити умови для довготривалого збереження екологічної рівноваги. Перспективним напрямом є інтеграція ревіталізації водойм у стратегії міського планування та «зелену інфраструктуру» населених пунктів. Поєднання функцій очищення, рекреації та естетичного озеленення робить такі об'єкти важливою складовою екологічно сталого розвитку міст і сіл.

Упровадження інноваційних технологій ревіталізації, адаптованих до масштабу невеликих міських водойм, створює передумови не лише для підвищення екологічної безпеки та поліпшення санітарного стану водних об'єктів, а й для формування комфортного середовища проживання населення. Це сприяє інтеграції природоохоронних заходів у міське планування, розвитку екотуристичних і рекреаційних можливостей, а також підвищенню екологічної свідомості громади. У перспективі такі рішення можуть стати моделлю сталого управління малими водоймами, забезпечуючи їх довготривалу екологічну рівновагу та цінність для суспільства.

Таким чином, ревіталізація водойм виходить за межі лише природоохоронної діяльності. Вона перетворюється на багатофункціональний інструмент екологічної політики, що одночасно вирішує проблеми якості водних ресурсів, зміцнює біорізноманіття, створює нові можливості для відпочинку населення та сприяє формуванню екологічної культури суспільства.

ЮРЧЕНКО В.О., МЕЛЬНИКОВА О.Г., МЕЛЬНИК С.В. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ДОСЛІДЖЕННЯ СНІГОВОГО ПОКРИВУ, ЯК ПОТЕНЦІЙНОГО ЗАБРУДНЮВАЧА ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, 61002, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна; valentya.yrchenko@kname.edu.ua

Abstract. Until recently, suspended solids and oil products were considered the most environmentally hazardous pollutants of stormwater from urban areas. Since the early 2000s, there has been a steady trend towards an increase in the content of nutrients (nitrogen and phosphorus) in stormwater. Studies have shown a steady increase in the concentration of ammonium nitrogen in the water of the Kharkiv and Lopan rivers below the city, which indicates pollution of river waters by stormwater from the territory of Kharkiv. The work investigated the inflow of ammonium nitrogen compounds in winter runoff formed in urban areas. According to the results of the study, a relationship was established between the concentration of pollutants and the distance from the road. Sorption accumulation of ammonium nitrogen in snow in the city was observed compared to its content in atmospheric snow. Absolute concentrations of ammonium nitrogen in snow were 2-4 times higher than the MPC for wastewater discharge into natural water bodies (2 mg/l)

Зазвичай найбільшу екологічну небезпеку для природних водойм у поверхневому стоці становлять завислі речовини та нафтопродукти. Але за останні 20 років вміст біогенних елементів (азоту та фосфору) різко зріс у поверхневих стічних водах перевищуючи їх міст у природних водоймах. Це стало причиною підвищеної евтрифікації природних водойм, і як наслідок втрати водоймами своєї практичної цінності та рекреаційного значення.

Необхідно відмітити, що амонійний, нітритний та нітратний азот присутні в атмосферних опадах ще до їх досягнення поверхні Землі. Одним з джерел надходження сполук азоту до поверхневого стоку, що формується на території міст є автомобільний транспорт. Газоподібні викиди з відпрацьованими газами автомобілів контактуючи з атмосферними опадами формують екологічно небезпечний поверхневий стік за вмістом не тільки завислих речовин та нафтопродуктів, але й сполуками азоту. Наразі амонійний азот швидко стає домінуючою реакційноздатною сполукою азоту, що викидається багатьма новими транспортними засобами, завдяки широкому використанню та зростаючій ефективності каталітичних систем, що зменшують викиди NO_x . Утворення аміаку в трикомпонентних каталізаторах відбувається внаслідок відновлення оксиду азоту (NO) воднем.

Було визначено, що основними неорганічними сполуками азоту, присутніми в опадах, були нітратний та амонійний азот, а також (у нижчих концентраціях) нітритний азот.

Мета дослідження – дослідити характер розповсюдження поллютантів від автомобільних доріг на урбанізованих територіях.

Об'єктом дослідження був сніг (після певного періоду сніготанення), який збирався в придорожньому просторі міських (Харків, Україна) – ділянки 1 та приміських доріг (ділянка 3) на різній відстані від дороги. У талому снігу визначали концентрацію амонійного азоту, (фотоколориметричними методами), завислих речовин (гравіметричним методом) та нафтопродуктів (гравіметричним методом з екстракцією хлороформом).

Перетворення забруднювачів повітря відпрацьованими газами автомобілів під час адсорбції сніговим покривом було представлено наступним чином: оксиди азоту під час адсорбції снігом розчиняються у сніговій воді та утворюють нітрати, аміак – іон амонію, вуглеводні під час розчинення у сніговій воді визначаються як нафтопродукти (насичені вуглеводні складають до 80% нафтопродуктів, накопичених ґрунтами узбіччя дороги 3), частинки, що викидаються з відпрацьованими газами автомобілів під час адсорбції снігом та його танення, визначаються у талій воді як завислі речовини.

В таблиці представлені результати дослідження. На ділянках 1 та 3 досліджуваний атмосферний сніг вже містив амонійний азот, що також відзначали інші дослідники опадів. Більше того, вміст амонійного азоту в приміській зоні був вищим, ніж у місті. Це, можливо, пов'язано з наявністю промислового виробництва в цій зоні, що підтверджується показником забруднення атмосферного снігу завислими речовинами.

**Концентрація забруднюючих речовин у сніговому покриві придорожнього простору
урбанізованих територій**

Дослідні ділянки	Місця відбору проб снігу	Концентрація, мг/л		
		Завислі речовини	Нафтопродукти	Амонійний азот
1	5 м від дороги	212	46,5	1,0
	15 м від дороги	-	14,1	3,43
	50 м від дороги	162	-	5,15
3	Атмосферний сніг	310	0	1,03
	200 м від дороги	210	8,5	1,09
	Підвітряний бік, 0,5-1,0 м від дороги	650	192,9	2,57
	Підвітряний бік, 10 м від дороги	120	20,4	3,54
	Навітряний бік, 0,5-1,0 м від дороги	12880	305,9	3,86
	Навітряний бік, 5 м від дороги	170	118,2	2,68
	Навітряний бік, 10 м від дороги	120	32,4	1,72

- не визначали

Також необхідно відмітити, що зі збільшенням відстані від дороги концентрація амонійного азоту в снігу зростала. Цей показник мав подібну динаміку на одному боці приміської дороги (ділянка 3). На іншому боці дороги цей показник мав протилежну динаміку, що може бути пов'язано з близькістю житлових будівель на цьому боці дороги та особливостями розсіювання.

Таку динаміку концентрацій амонійного азоту у снігу з відстанню від дороги можна пояснити видаленням легких газів NH_3 та NO_x з дороги під час розсіювання викидів автомобілів.

Забруднення снігу після танення завислими речовинами, тобто частинками, що викидаються з відпрацьованими газами автомобілів, має стабільне зменшення з відстанню від дороги. Однак навіть в атмосферному снігу виявлено високу концентрацію завислих речовин. У снігу на узбіччі приміських доріг цей показник був значно вищим, ніж на узбіччі міських доріг. Наприклад, у безпосередній близькості від дороги концентрація завислих речовин у снігу в приміській зоні була в 3–6 разів вищою, ніж у снігу на ділянці 1. Однак на відстані понад 10 м від дороги спостерігалася протилежна залежність: у приміських зонах у приватному секторі на відстані від дороги концентрація завислих речовин була нижчою, ніж у місті.

Висновки. Сніговий покрив узбіччя дороги є надзвичайно інформативним засобом моніторингу рівня та характеристик забруднення узбіччя транспортними засобами. Він адсорбує компоненти викидів: сполуки азоту у вигляді нітратів та іона амонію в талому снігу, частинки у вигляді завислих речовин та вуглеводні у вигляді нафтопродуктів. Ці забруднювачі становлять екологічну небезпеку для ґрунтів та природних вододілів від поверхневого стоку, що утворюється на узбіччі дороги.

Забруднення снігу завислими речовинами та нафтопродуктами негативно корелювало з відстанню від міських та приміських доріг. Натомість концентрація азотовмісних сполук – амонійного азоту та нітратів – мала позитивну кореляцію та зростала зі збільшенням відстані від дороги. Ймовірно це пов'язано з видаленням з дороги легких газів NH_3 та NO_x через розсіювання, посилене транспортним рухом. Концентрація як амонійного азоту, так і нітратів у внутрішній частині будинку була нижчою, ніж на узбіччі дороги.

ДАНЧЕНКО Ю.М., МАХЛАЙ Р.С. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНДАРТІВ ТА ВИМОГ УКРАЇНИ ТА КРАЇН НАТО ДО ПИТНОЇ ВОДИ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Національна академія національної гвардії України

61000, майдан Захисників України, 3, Харків, Україна; mail@nangu.edu.ua

Abstract. The paper presents the results of a comparative description of the requirements of regulatory documents for drinking water supplied to the armed forces of Ukraine and NATO countries. It was found that the requirements are the same for such indicators as the content of aluminum, ammonium, iron, nitrates, chromium, etc. And for some, Ukrainian standards are much stricter - the content of nickel, nitrites, sulfates, cadmium, bez(a)pyrene, chloroform, as well as radioactive elements. When supplying packaged water according to the standard of NATO countries, two situations are determined that determine the level of water quality: ordinary and emergency situations. According to the situation, two types of drinking water standards are provided - long-term and short-term (less strict, which are permissible for use within 30 days).

Під час виконання службово-бойових завдань сили сектору безпеки та оборони України здійснюють чисельні переміщення. При цьому одним із важливих завдань командування є забезпечення особового складу якісною питною водою в місцях постійної та тимчасової дислокації. Актуальним завданням є рішення, які дозволять отримати воду безпосередньо на місці дислокації, яка відповідає державним санітарним нормам України та нормам, прийнятим у збройних силах країн НАТО. Загальний вміст і співвідношення розчинених і нерозчинних у питній воді компонентів коливається в широких межах, однак вони не повинні перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК) по окремих компонентах. В табл. 1 наведені вимоги нормативних документів щодо деяких показників якості води в Україні та країнах блоку НАТО.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика вимог до питної води в Україні та країнах блоку НАТО

Показник якості води	Одиниця вимірювання	Норми ВООЗ (ГДК)	Стандарт США (ГДК)	Норми Німеччини (ГДК)	Норми країн блоку НАТО AMedP-4.9. (ГДК)	ДСТУ 7525:2014 (ГДК)
Забарвленість	ст. од.	15	15	0,5	15	20
Каламутність	мг/дм ³	5	1	1,5	1	1,5
pH	ст. од.	6,5-8,5	6,5-8,5	-	6,5-9,5	6,5-8,5
Присмак та запах	бали	Відсутність	-	-	Відсутність	2
Сухий залишок	мг/дм ³	1000	500	-	-	1000
Алюміній, Al	мг/дм ³	0,2	-	-	0,2	0,2
Амоній, NH ₄	мг/дм ³	1,5	-	-	0,5	0,5
Залізо, Fe	мг/дм ³	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Мідь, Cu	мг/дм ³	1	1	1	2	1
Нікель, Ni	мг/дм ³	0,1	-	0,05	0,07	0,02
Нітрати, NO ₃	мг/дм ³	50	-	-	50	50
Нітроти, NO ₂	мг/дм ³	3	-	-	3	0,5
Свинець, Pb	мг/дм ³	-	-	-	-	0,01
Сульфати, SO ₄	мг/дм ³	250	250	240	300	250
Фториди, F	мг/дм ³	1,5	2	-	1,5	0,7-1,5
Хлориди, Cl	мг/дм ³	250	250	250	60	250
Хром, Cr	мг/дм ³	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05
Цинк, Zn	мг/дм ³	5	5	5	-	1
Кадмій, Cd	мг/дм ³	-	-	-	0,003	0,001
Цианіди, CN	мг/дм ³	-	-	-	0,05	0,05
Миш'як, As	мг/дм ³	-	-	-	0,01	0,01
Бенз(а)пірен	мг/дм ³	-	-	-	0,0007	0,000005
Хлороформ	мг/дм ³	0,06	-	-	0,3	0,06
Пестициди (сума)	мг/дм ³	-	-	-	0,0005	0,0005
Сумарна об'ємна активність α-випромін	Бк/л	-	-	-	0,5	0,1
Сумарна об'ємна активність β-випромін	Бк/л	-	-	-	1	1

Отже, порівняння показало, що вимоги однакові за такими показниками, як вміст алюмінію, амонію, заліза, нітратів, хрому тощо. А за деякими українські стандарти значно жорсткіші - вміст нікелю, нітритів, сульфатів, кадмію, без(а)пірену, хлороформу, а також радіоактивних елементів.

Варто зазначити, що за останні роки вимоги до якості питної води, суттєво підвищились. Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) з 1995 року необхідно здійснювати контроль більш ніж за 100 показниками складу води, яка призначена для пиття.

Стандартом країн блоку НАТО передбачено застосування трьох типів стандартів:

Тип I = параметр, пов'язаний зі здоров'ям: недотримання стандарту може призвести до прямого негативного впливу на здоров'я;

Тип IIa = індикаторний параметр типу a: недотримання стандарту може призвести до непрямого негативного впливу на здоров'я (наприклад, смак може обмежити споживання та призвести до зневоднення);

Тип IIb = індикаторний параметр типу b: недотримання стандарту вказує на можливу технічну проблему та має бути оцінено на предмет будь-якого ризику для здоров'я людини.

Стандарти типу I та IIa є обов'язковими для оцінки ризику якості води; тип IIb може бути використаний для додаткової оцінки ланцюга водопостачання.

При постачанні фасованої води визначаються дві ситуації, що визначають рівень якості води. У звичайних ситуаціях постачання питної води має бути забезпечене планом безпеки води. Ця операційна система забезпечення якості, що базується на принципах НАССР² ([Hazard Analysis and Critical Control Points](#)), застосовується до всього ланцюга постачання від джерела сирової води до точки використання. Якість води в точці використання повинна відповідати Довгостроковим стандартам (ДСТ). Цю воду можна використовувати для довгострокового споживання, і вона не призведе до негативного впливу на здоров'я. Протягом періоду між відбором проб води та остаточним аналізом усіх складових/характеристик тимчасове рішення про випуск води на основі польових аналізів якості є операційною необхідністю. Тому пропонуються Короткострокові стандарти (КСТ). КСТ можуть застосовуватися протягом обмеженого періоду в 30 днів і відображають верхню межу потенційного погіршення продуктивності. Порівняння ДСТ та КСТ для деяких показників наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Довгострокові (ДСТ) та короткострокові (КСТ) стандарти питної води
(Стандарт країн блоку НАТО AMedP-4.9.)**

Показник якості води	Одиниця вимірювання	ДСТ	КСТ
Забарвленість	ст. од.	15	15
Каламутність	мг/дм ³	1	1
pH	ст. од.	6,5-9,5	6,5-9,5
Присмак та запах	бали	Відсутність	Відсутність
Електропровідність	мкСм/см	1500	1500
Миш'як, As	мг/дм ³	0,01	0,02
Цианіди, CN	мг/дм ³	0,05	2,0

Надзвичайна ситуація щодо водопостачання є винятковою та застосовується лише в ситуації, коли через ворожу діяльність або інші серйозні, непередбачувані умови, вода, яка відповідає критеріям якості звичайної ситуації, не може бути своєчасно вироблена або поповнена. Якість питної води для надзвичайних ситуацій повинна щонайменше відповідати Мінімальним стандартам для надзвичайних ситуацій (MSES). MSES базуються на прийнятних відсотках (максимум 10% від групи) військовослужбовців, які можуть відчути погіршення працездатності протягом 7 днів з першого моменту споживання. Для деяких складових Стандарт НАТО містить скориговані рекомендації щодо вищих нормативів споживання до 15 літрів/день. Вплив на здоров'я, який може знизити працездатність людей, детально описано у нормативних документах.

КОВАЛІВ Ю.В., МАЗУРАК О.Т. (УКРАЇНА, ДУБЛЯНИ)

СУЧАСНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького (Північний кампус)*

80381, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл.;

rectorat@lnup.edu.ua

Abstract. The paper considers traditional and modern methods of wastewater treatment aimed at preserving the environment. Physical processes (sedimentation, degassing, filtration) remove suspended solids and gases; chemical methods (coagulation, disinfection, precipitation, adsorption, ion exchange) ensure the removal of toxic impurities; biological technologies (aerobic, anaerobic processes and membrane systems) effectively decompose organic compounds and improve the quality of treated water. The comprehensive application of these approaches guarantees a high level of treatment and meets modern requirements.

Стічні води щодня утворюються в результаті різних видів діяльності, таких як побутова, сільськогосподарська та промислова, і мають величезне гідравлічне навантаження та різноманітний склад. Стічні води цих різних секторів містять органічний вуглець, азотисті органічні речовини, неорганічні речовини, зважені/розчинені тверді речовини та важкі метали.

Традиційний процес очищення стічних вод включає комплексні етапи видалення твердих речовин, органічних речовин та поживних речовин зі стічних вод. Зазвичай послідовно застосовуються комбінації фізичних, хімічних та біологічних процесів для отримання очищених стічних вод з певними характеристиками. Очищення стічних вод включає деякі загальні етапи, такі як адсорбція, фотодеградація, коагуляція-флокуляція, іонний обмін, осадження, біологічне та мембранне розділення.

Сучасні технології очищення води (мембранні, сорбційні, каталітичні тощо) дозволяють очищати воду від будь-яких забруднень. Однак використання цих методів збільшує вартість очищеної води, а наслідки її використання не завжди є очевидними.

Одним із напрямів, що дозволяють більш раціонально організувати процеси очищення, є впровадження сучасних концепцій синтезу хіміко-технологічних систем (ХТС). Типові схеми очищення стічних вод включають попередню обробку фізичними (седиментація, фільтрація, флоатція), фізико-хімічними (коагуляція) та біологічними (переважно аеробними) методами.

Фізичні методи очищення води включають седиментацію, дегазацію та фільтрацію. Седиментація базується на гравітації для осадження зважених твердих речовин, зменшення каламутності та полегшення подальших процесів очищення. Дегазація видаляє розчинені гази, такі як O_2 , N_2 та CO_2 , які можуть спричинити корозію або знизити ефективність дезінфекції, за допомогою таких пристроїв, як повітряні сепаратори, вакуумні дегазатори або мембранні контактори. Фільтрація пропускає воду через пористі матеріали (пісок, гравій або мембрани) для видалення частинок, мікроорганізмів та інших домішок; вона застосовується як фільтрація частинок (мішкові та картридж-фільтри) або мембранна фільтрація, залежно від розміру забруднювачів та потреб очищення.

Хімічні методи очищення води включають коагуляцію та флокуляцію для агрегації та видалення зважених частинок, а також дезінфекцію хлором, озоном або ультрафіолетом для інактивації патогенів. Хімічне осадження усуває важкі метали та поживні речовини шляхом утворення нерозчинних сполук, тоді як адсорбція за допомогою таких матеріалів, як активоване вугілля, уловлює органічні та неорганічні забруднювачі. Іонний обмін замінює небажані іони на більш безпечні, що зазвичай застосовується для пом'якшення води та видалення токсичних речовин.

Біологічні методи очищення води базуються на мікроорганізмах, які розкладають забруднювачі, і включають аеробні та анаеробні процеси. Аеробна обробка використовує киснезалежні бактерії в системах з підвищеним або прикріпленим ростом для перетворення органічної речовини в біомасу, воду та CO_2 . Анаеробна обробка працює без кисню, виробляючи біогаз (метан і CO_2), одночасно зменшуючи кількість осаду та енергоспоживання, хоча часто поєднується з іншими методами. Мембранні технології, такі як мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос, забезпечують високу якість стоків шляхом фільтрації частинок, мікроорганізмів, важких металів та розчинених твердих речовин і часто інтегруються з біологічними або хімічними процесами для вдосконаленої очистки.

FASULIAK V.¹, VOVK L.¹, HALYCH O.², NOWAK P.³, BILKOVA E.³
(¹UKRAINE, LVIV; ²UKRAINE, RIVNE; ³CZECH REPUBLIC, PRAGUE)

HYDROLOGICAL MODELLING RESEARCH WORLDWIDE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCOPUS PUBLICATIONS

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. Hydrological modelling is an important part of water resources research, giving useful tools for understanding, predicting, and managing hydrological processes in changing environmental conditions. This study shows a bibliometric analysis of global research trends in hydrological modelling using the Scopus database. Publications from 1966 onwards were studied to find the most influential countries, institutions, authors, and journals in the field. Keyword networks were mapped with VOSviewer to show main themes and new research areas. The most commonly used models and software, such as SWAT, HEC-RAS, SWMM, etc. are discussed, showing their use in flood forecasting, watershed management, and studying climate change impacts. The results show continuous growth in research and strong international collaborations. This review gives clear insights into the development, current state, and possible future directions of hydrological modelling research worldwide.

The projection of water-related hazards is complicated by the interactions between climate, land use, ecological systems, and socio-economic factors, such as population growth, economic development, urbanization, and water management policies. Hydrological modelling plays a crucial role in understanding, predicting, and managing water resources, particularly under rapidly changing environmental conditions. Over the past decades, a number of software frameworks for hydrological modelling was developed and are in active use. Accurate hydrological simulation requires extensive observed data and careful parameter optimization, with data gaps or mismatches often resulting in simulation errors.

The data for this review were retrieved from the Scopus database (www.scopus.com), a leading platform for academic research. The review period spans publications indexed since 1966, with the first recorded article appearing in that year (Table 1).

Table 1

Global trends in the number of hydrological modelling publications by leading countries

Time periods (years)									
2025-2020		2019-2010		2009-2000		1999-1990		1989-1966	
Country	Number of articles	Country	Number of articles	Country	Number of articles	Country	Number of articles	Country	Number of articles
China	3136	United States	4276	United States	1796	United States	71	United States	13
United States	2408	China	2781	Germany	550	United Kingdom	45	Canada	5
India	788	Germany	1393	United Kingdom	470	Germany	38	France	4
Germany	759	United Kingdom	1163	Canada	441	Canada	26	Netherlands	4
Canada	734	Canada	1128	China	418	France	24	United Kingdom	4

Despite this early record, significant interest in the topic began only in the 1990s. A notable surge in publication output occurred in 1999, marking the start of accelerated growth. Over the following two decades, the number of publications increased on average by approximately 100 articles per year. The most substantial annual growth was observed in 2016, when 509 articles were published, representing a peak in research activity. Since 2021, a slight decline in publication trends has been noted, suggesting a stabilization in research

interest in this field. In Table 1 presents the top five countries contributing to hydrological modelling research. The data show the evolution of global research productivity and highlight the countries that have played a leading role in advancing the field over time. The decades saw a substantial increase in global research output. The leading contributors were the United States, Germany, the United Kingdom, Canada, and China. In the most recent period (2020–2025), China became the most prolific country with 3,136 articles, surpassing the United States (2,408). India (788) was also added to the list of top contributors in last period. Overall, the data indicate a clear shift in global research leadership over time, with the United States dominating early research and China emerging as the leading contributor in recent years. This reflects broader trends in scientific investment, research capacity, and international collaboration in hydrological modelling. The most influential journals throughout the entire period in this research domain include Journal of Hydrology (3,749 articles), Water Switzerland (1,998), Water Resources Research (1,832).

To create clear visual representations and to analyse the data, science mapping tools were employed. Co-authorship networks and keyword co-occurrence maps were generated using VOSviewer 1.6.20 software. VOSviewer is widely applied for constructing maps and networks based on large collections of bibliographic records from various research databases. This tool enables the visualization of co-authorship links, keyword relationships, and co-citations, thereby facilitating the analysis of connections between different research elements. In addition, the capabilities of the Scopus database for data analysis and visualization were applied to quantitatively assess scientific publications and identify trends in research productivity. The keyword co-occurrence network generated with VOSviewer, illustrating the main research themes and emerging areas in hydrological modelling. The visualization reveals several distinct clusters: topics related to floods, forecasting, and prediction techniques (I), streamflow, climate models, and data-driven approaches (II), climate change, runoff, and land use change (III), and water supply, water quality, aquifers, and pollution (IV). The central position of the keyword “hydrological modelling” highlights its integrative role in connecting diverse subfields. The visualization also allowed for the identification of the most frequently used software in hydrological modelling, such as HEC-RAS, SWMM, GIS, SWAT, and HYDRUS, among others. In Table 2, the above-mentioned models are presented, and the Basic modelling processes and Typical areas of application are given.

Table 2

Modelling platforms

Model / Program	Basic modelling processes	Typical areas of application
Family of HEC Programs (USACE)	The Hydrologic Engineering Center (HEC) has been developing computer software for hydrologic engineering and planning analysis procedures	Engineering planning of dams, reservoirs, and flood protection systems
SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	Small watershed to river basin-scale model used to simulate the quality and quantity of surface and ground water and predict the environmental impact of land use, land management practices, and climate change	River basin management; agroecosystems, climate adaptation
SWMM (Storm Water Management Model)	Dynamic rainfall–runoff simulation model that represents stormwater quantity and quality in urban areas	Urban drainage design, stormwater management, combined sewer overflow analysis
GIS (Geographic Information Systems)	Spatial data management, visualization, and geostatistical analysis; integration with hydrological and hydraulic models	Watershed delineation, flood risk mapping, land use change analysis, spatial decision support
HYDRUS	Numerical models for simulating water, heat, and solute movement in variably saturated porous media	Soil water flow and solute transport, irrigation management, groundwater recharge studies
CMIP (Coupled Model Intercomparison Project)	Multi-model ensemble framework providing climate projections based on global climate models	Climate change impact assessment, hydrological modelling under future scenarios, water resource planning

This review highlights the continuous growth and diversification of hydrological modelling research, with increasing global collaboration and the development of advanced software tools. The findings emphasize the crucial role of modelling in addressing water-related challenges under changing environmental and socio-economic conditions.

THE WATER-ENERGY-FOOD-ECOSYSTEMS (WEFE) NEXUS APPROACH AS AN INTEGRATED PLANNING FRAMEWORK TO OPERATIONALISE WATER AND RESOURCE RECLAMATION IN REGENERATIVE METROPOLITAN REGIONS

Technical University of Munich (TUM)

Arcisstr. 21, 80333 Munich, Germany; d.gondhalekar@tum.de

Abstract. Worldwide, economic growth and urbanization have pushed natural resource demand to unsustainable levels, particularly in cities. This resources overconsumption pattern is driving climate change and environmental degradation, and perpetuating social inequality. Despite the known risks of climate change, under current policy and growth trends, and natural resource mismanagement, demand for water, energy and food continues to rise worldwide, causing severe resource stresses. As cities are highly complex systems, the Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) Nexus approach deployed as an integrated urban planning framework is a key opportunity to tackle sustainability challenges holistically. This study deploys a Nexus approach to showcase resource recovery potentials from urban waste streams currently not leveraged to their full extent in the Maxvorstadt neighbourhood of Munich in Germany as a case study. The study demonstrates that potential for recovery of water, energy and nutrients in form of water for alternative uses, energy and organic fertilizer is significant and worth considering in urban planning processes as follows.

The alternative decentralised technology-based system design using an anaerobic membrane bioreactor can support resource recovery whilst rainwater reuse is a further option to support water conservation. Benefits of deploying the Nexus approach are manifold. The proposed decentralized alternative technology can potentially enable achieving saving on freshwater usage due to rainwater harvesting (1,3 million €/year), savings due to decoupling wastewater treatment (2,8 million €/year), and saving due to local energy generation (0,8 million €/year), a total annual saving of around 5 million €/year. Since the capital costs were estimated at around 10,3 million €, the system will amortize itself in around two years. Further, the required costs of treating a cubic meter of wastewater using the proposed decentralized system is potentially only around 60% of the current costs incurred by users of the centralized system. Operating and maintaining the centralised sewerage system that is over 100 years old is a huge cost to the municipal government and its sustainability needs to be fundamentally assessed.

The estimated energy generation potential of the proposed system covers 2,3% of the electrical demand and 0,8% of the heating demand inside Maxvorstadt. This does not seem much, but is indeed very significant. The proposed decentralized system is energy autonomous, i.e., generating enough energy to run itself. Further, it is energy positive i.e., can feed electricity to the grid. This can help save costs and reduce the CO₂ footprint of the neighbourhood. Biomass can easily be stored and accrues locally, but is continuously under-highlighted in policy and academic literature as a valuable source of renewable energy.

If we consider all the de-sealed surfaces and roofs with an inclination of less than 15° that are suited for urban agriculture leads to a water consumption of 1,8 million L/day between the months of May to October. While agriculture irrigation demand is usually met by rain in Germany, in case of hot dry summers, which will be increasing significantly with climate change, the vegetables would need to be watered frequently. Using the described system would generate around 12,7 million L/day of reclaimed water, which is more than enough to cover potential irrigation demand in Maxvorstadt. This could be an encouraging factor to expand the urban farming concept to the areas surrounding Maxvorstadt.

To summarize, the WEFE Nexus approach demonstrates significant potentials in its application to cities. The provisioning and distribution of reclaimed water, energy and nutrients can be a significant business opportunity to create new green jobs. However, key hurdles are as follows: urban planning is often conducted in sectoral “silos” so that an integrated approach is challenging to implement. Capacity building is needed at local, regional and national levels to enable enhancement of climate resilience based on the Nexus approach. The Nexus approach has huge potential to support ecosystem regeneration at regional scales, and is relevant for cities worldwide for the reconceptualization of conventional urban infrastructure and its development to enable an equitable transition to regenerative metropolitan regions. As such, the Nexus approach signifies an opportunity for cities in developing economy contexts or those whose infrastructures have been severely damaged by climate change or political impacts, to reinvent their future infrastructure development and leapfrog to a more climate proof and low GHG emissions future.

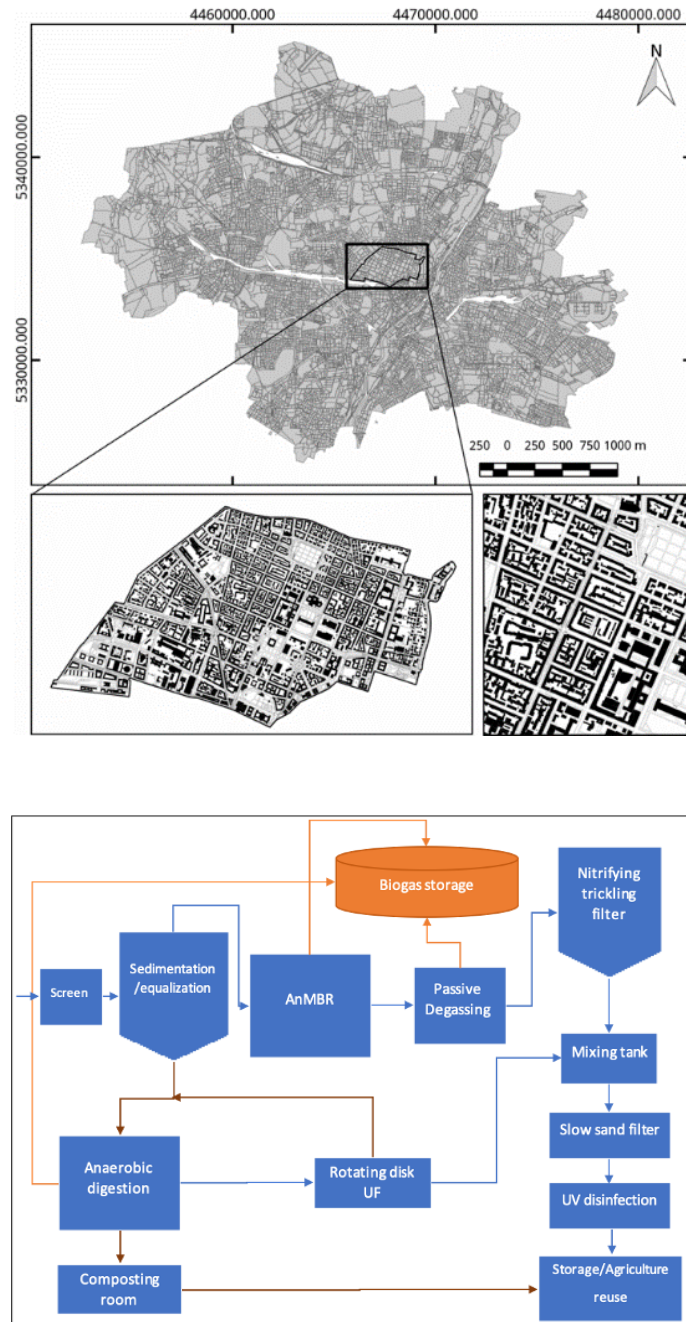


Fig. 1. Location of Maxvorstadt neighbourhood in Munich city in a district map and typical urban blocks, and suggested water treatment with resource recovery train.

МАЗУРАК О., КОВАЛІВ Ю., МАЗУРАК І. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОВУГІЛЛЯ З ВІДХОДІВ ЗЕРНОВИХ
АГРОКУЛЬТУР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД**

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Ґжицького (Північний кампус)*

*80381, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський район, Львівська область,
rectorat@lnup.edu.ua*

Abstract. Grain waste can be a sustainable biosorbent for water purification. The sorption of non-activated and modified biochars of various agricultural crops has been investigated. Chemically modified biosorbents from corn straw, cobs and stalks effectively remove nitrates, phosphorus and ammonium. Different ranges of efficiency have been proven depending on the nature and activation of the biosorbent, sorption conditions and type of contaminants. Modification of corn-based sorbents with metals and chemical agents increases the adsorption capacity, offering an environmentally friendly solution.

It is recommended to conduct studies on the biosorption of nutrients with the proposed agricultural wastes applied to industrial wastewater to fill the gaps not understood and to scale up the process in industrial treatment plants.

Інноваційність методів поводження з відходами аграрного виробництва, що супроводжуються позитивними результатами в різних сферах використання, зокрема у природозахисних технологіях, є необхідним викликом сьогодення до порятунку планети та її екобезпеки, шляхом до розв'язання екологічних проблем. В розрізі вирішення проблем екологічної стабільності біогеосистем – очищування водних об'єктів від забруднень стічними водами гірничого, промислового та комунального секторів.

За останнє десятиліття метод адсорбції привернув найбільшу увагу науковців, а адсорбційні особливості біосорбентів (модифікованого біовугілля) на основі відходів рослинного походження ретельно вивчаються, досліджуються та мають перспективи до застосування.

Основними зерновими культурами України є пшениця, кукурудза, овес, ячмінь та гречка. Лушпиння та солома цих культур мають пористу структуру, містять целюлозу, геміцелюлозу та лігнін з функціональними органічними групами, котрі після модифікування можуть формувати підвищену адсорбційну здатність пористих матеріалів.

Відходи зернових культур часто використовують для виробництва біовугілля методом піролізу, або гідротермальної карбонізації. Таке вугілля володіє високою адсорбційною здатністю і ефективно видаляє з води важкі метали, органічні барвники та інші токсичні речовини.

Овес, що є однією з ключових сільськогосподарських культур у світі та експортується Україною, генерує значний обсяг лігніно-целюлозних відходів, які становлять приблизно 25% маси зерна. Після відповідної хімічної обробки ці відходи демонструють високу ефективність у виробництві активованого вугілля, яке успішно було використано для видалення барвників та миш'яку з водних розчинів.

Відомо, що біоадсорбенти, вироблені при різних співвідношеннях імпрегнації та температурах піролізу, мали середній діаметр пор від 2,5 до 8,3 нм, що свідчить про їх відповідність зразкам мезопористого активованого біовугілля. Такі біосорбенти можна надалі досліджувати для очищування стічних вод від поліутантів різної природи.

Оцінювання ефективності видалення іонів металів (Ni^{2+} , Cr^{3+} і Mn^{2+}) з використанням карбонізованого лушпиння рису, проса та кукурудзи показали, що всі лушпиння ефективні для кількісного видалення різних токсичних важких металів з промислових та комунальних стічних вод і можуть використовуватися як недорогі та високоефективні адсорбенти.

Разом з тим дослідження активованого та неактивованого біовугілля з кукурудзяних качанів, стебел і соломи демонструють широкий діапазон ефективності видалення нітратів ($q = 50$ мг/г), загального фосфору ($q = 0.7$ мг/г), іонів амонію та фосфатів залежно від умов сорбції та типу забруднень. Дослідження відображають критерії вибору та використання біосорбентів для очищення водойм від біогенних речовин (табл.1).

Характеристика різних біосорбентів

Вид біосорбенту	Країна	Тип води, насиченої поживними речовинами	Забруднювач	Ефективність видалення (%)	Дані для біосорбційної ємності
Рисове лушпиння біовугілля (без активації)	Фукуока (Японія).	Синтетичні водні розчини	Нітрати і фосфати	5–25	Co = 5–20 мг/л. Da = 5 г/л q = 2,1–5 мг/г
Пшенична солома, хімічно модифікована епіхлоргідрином	Китай	Синтетичні водні розчини	Нітрати	50	Co = 50 мг/л. Da = 4 г/л q = 2,1 ммоль/г
Біовугілля із кукурудзяної соломи, хімічно модифіковане Fe ₃ O ₄	Китай	Синтетичні водні розчини	Фосфати	55–95	Co = 20 мг/л. Da = 4 г/л q = 2–20 мг/г
Біовугілля з кукурудзяної соломи, модифіковане FeSO ₄	Пекін (Китай)	Стічні води свинарника	Загальний фосфор	83–95	Co = 84–2600 мг/л. Da = 10 г/л. q = 7–18 мг/г
Біовугілля з кукурудзяних стебел (без активації)	Шеньсі (Китай)	Синтетична вода	Нітрати і фосфати	10–60	Co = 0,5–100 мг/л. Da = 2 г/л. q = 14–23 мг/г
Кукурудзяні качани, модифіковані амінами,	Нью-Йорк (Сполучені Штати)	Синтетична вода	Нітрати і фосфати	98–99	Co = 0,1–10 мг/л. Da = 10 г/л
Біовугілля з кукурудзяних качанів (без активації)	Сідней (Австралія)	Синтетична вода	Нітрати	10–50	Co = 20 мг/л. Da = 0,1–1 г/л. q = 50 мг/г

Покращення сорбційних властивостей матеріалу досягається шляхом його модифікування хімічними агентами та металами. Ефективність біовугілля, отриманого з відходів зернових культур, значно варіює залежно від умов проведення сорбції та характеру забруднень.

Ефективність біосорбентів у видаленні забруднювальних речовин різного походження не завжди є високою, і остаточні концентрації політантів можуть не відповідати екологічним стандартам.

Для підвищення економічної вигоди та ефективності очищення стічних вод пропонується інтеграція біосорбції з іншими методами, або так званими, гібридними технологіями (наприклад, штучними водно-болотними угіддями, або біоплато, чи біосорбція з електрокоагуляцією, або електрохімічним окисненням тощо), також науковцями пропонується використання нових біонаноккомпозитів.

МОКРИЙ В.І.¹, ПАНЬКОВСЬКА Г.П.², ЛИСИК П.М.¹,
СКРЕНТОВИЧ О.Р.¹ (УКРАЇНА, ЛЬВІВ, ЯСЕНІВ)

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОНІКІВСЬКОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЗАКАЗНИКА В НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ»

¹Національний університет «Львівська політехніка»

79000, вул. Степана Бандери, Львів, Україна; volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua

²Національний природний парк «Північне Поділля»;

80661, вулиця Бродівська 21 А, Ясенів, Україна; park_pp@ukr.net

Abstract. The article examines the features of the functioning and preservation of the Ponykyv hydrological reserve, located within the National Nature Park "Northern Podillya". The key ecological functions of the reserve, threats to its sustainable existence, as well as the possibilities of introducing modern information technologies into the monitoring system are outlined. The creation of an integrated information and analytical system that combines GIS technologies, remote sensing of the Earth, bioindicator methods and digital communication is proposed to ensure effective management of the nature conservation object.

Актуальність збереження водно-болотних угідь і гідрологічних заказників набуває особливого значення в умовах сучасних кліматичних змін і зростаючого антропогенного навантаження. Ці екосистеми є регуляторами гідрологічного балансу, акумуляторами біорізноманіття та природними фільтрами води. Пониківський гідрологічний заказник, що входить до складу Національного природного парку «Північне Поділля», є цінним природоохоронним об'єктом, де збереглися джерела, водотоки, заболочені луки та рідкісні види флори й фауни. Розташований у Бродівському районі Львівської області. Підпорядкований Пониківській та Черницькій сільським радам. Площа 53,7 га. Створений в 1998 р. з метою збереження водно-болотної ділянки, що характеризується високим рівнем збереженості природної структури біогеоценозів і витоку р. Стир. Територія заказника входить до Малополицького екологічного коридору національного рівня.

Результати досліджень полягають в аналізі природних особливостей Пониківського заказника, визначення основних загроз його функціонуванню та обґрунтування ролі інформаційного забезпечення у системі його збереження. Географічно заказник розташований у північно-західній частині Львівської області, в межах горбогірного рельєфу Поділля. Гідрологічну мережу формують джерела та витoki малих річок; заболочені луки; прибережно-водна рослинність. Біорізноманіття: флора (осокові, очерет, вільха, верба), фауна (земноводні, птахи, рідкісні комахи). Заказник виконує важливі екологічні функції: регуляція водного стоку; акумуляція органічної речовини; середовище проживання; підтримання мікроклімату.

Однак упродовж останніх десятиліть спостерігається низка негативних тенденцій: зміна водного режиму, скорочення площ заболочених територій, забруднення вод, зростання рекреаційного навантаження (табл.1). Традиційні методи контролю виявляються недостатніми, тому виникає потреба у використанні сучасних інформаційних технологій для моніторингу й управління цим природоохоронним об'єктом (табл.1.)

Таблиця 1

Загрози та шляхи інформаційного моніторингу Пониківського гідрологічного заказника

Загроза	Шляхи інформаційного моніторингу
Гідрологічні зміни	Моніторинг рівня ґрунтових вод за допомогою датчиків і ГІС-моделювання
Забруднення агрохімікатами	Використання біоіндикаторів та дистанційного зондування для оцінки якості води
Кліматичні зміни	Аналіз багаторічних даних супутникових знімків і кліматичних моделей
Рекреаційне навантаження	Картографування відвідуваних ділянок за GPS-треками і мобільних застосунків
Відсутність моніторингу	Створення інтегрованої бази даних для регулярного збору та аналізу інформації

Висновки та перспективи подальших досліджень передбачають впровадження сучасних інформаційних технологій, що забезпечують збереження його природних комплексів, ефективний моніторинг, прогнозування та управління. Пониківський гідрологічний заказник є ключовим об'єктом для підтримання водного та екологічного балансу НПП «Північне Поділля». Інтегроване інформаційне забезпечення дозволить підвищити ефективність природоохоронних заходів і сприятиме сталому розвитку регіону.

НЕСТЕРОВА О.В., НАГОРНА О.К., НЕСТЕРОВ Я.С.,
НЕЧИТАЙЛО М.П. (УКРАЇНА, ДНІПРО)

ОЦІНКА РИЗИКІВ РУЙНУВАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД У ЗВ'ЯЗКУ З ГЛОБАЛЬНИМИ КЛІМАТИЧНИМИ ЗМІНАМИ

*Український державний університет науки і технологій
ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
49044, вул. Олега Петрова 24а, Дніпро, Україна; melenanesterenko@gmail.com*

Abstract. This article examines the risks of hydraulic structures failure under the influence of global climate change. Increasing frequency of extreme hydrometeorological events, such as floods, droughts, and ice jams, significantly affects the stability and reliability of dams and reservoirs. The study highlights key climate factors and their destructive impact on engineering structures. Methods of risk assessment, including hydrological modeling, statistical analysis, and GIS technologies, are discussed. Particular attention is given to potential social, economic, and ecological consequences of infrastructure failures. The article emphasizes the necessity of adaptive management and modernization of hydraulic structures. National programs for monitoring and risk reduction are proposed as essential strategies for Ukraine.

Гідротехнічні споруди відіграють ключову роль у забезпеченні водопостачання, енергетичної безпеки та захисту від шкідливої дії води. В умовах глобальних кліматичних змін їхня надійність стає питанням національної безпеки. За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, частота екстремальних гідрометеорологічних явищ у світі зростає, що підвищує ризик аварій і руйнувань інфраструктури [1].

В Україні понад 70 % гідротехнічних споруд експлуатуються понаднормово та мають високий ступінь фізичного зносу. За умов інтенсифікації кліматичних процесів (паводки, посухи, зміни льодових режимів) підвищується ймовірність катастрофічних наслідків при їхньому виході з ладу. Це актуалізує необхідність розробки комплексних методів оцінки ризиків та впровадження сучасних стратегій управління безпекою.

Зростання інтенсивності опадів суттєво підвищує ймовірність прориву дамб і переповнення водосховищ. Для багатьох регіонів України характерним стало збільшення частки короточасних, але надзвичайно інтенсивних зливових опадів, які створюють пікові навантаження на водосховища та захисні гідротехнічні системи [2].

Підвищення середньорічних температур повітря пришвидшує деградацію конструкційних матеріалів. Зокрема, бетон та метал, які є основними у спорудах такого типу, зазнають мікротріщиноутворення, прискореної корозії та втрати міцності, що значно скорочує строк їхньої надійної експлуатації [3].

Тривалі посухи та зниження рівня води у водних об'єктах провокують розвиток суфозійних процесів у ґрунтових основах. Це призводить до зниження стійкості гребель та підвищує ймовірність деформаційних процесів у тілах земляних дамб. Зміна льодових режимів річок, що зумовлює підвищення ризику утворення льодових заторів, які спричиняють нерівномірний розподіл гідравлічних навантажень, та можуть провокувати гідроудари з руйнівними наслідками [4].

Кліматичні зміни чинять комплексний багатовимірний вплив на гідротехнічні споруди, що вимагає розробки системного підходу до оцінки та управління ризиками їхньої безпеки.

Сучасна методологія оцінки ризиків руйнування гідротехнічних споруд ґрунтується на інтегрованому підході, що поєднує інженерно-технічні, гідрологічні та соціально-економічні індикатори. Такий підхід дозволяє врахувати як фізичні процеси в межах гідротехнічних систем, так і потенційні наслідки для населення та економіки.

Одним із ключових інструментів є гідрологічне та гідродинамічне моделювання, яке реалізується за допомогою сучасних програмних комплексів (HEC-RAS, MIKE 11, SWMM). Ці системи дають змогу відтворювати сценарії розвитку повеней та оцінювати гідродинамічні навантаження на споруди, що є критично важливим для їхньої надійної експлуатації [3].

Не менш значущим є геотехнічний моніторинг, що забезпечує отримання даних про стійкість основ і схилів, а також дозволяє своєчасно виявляти ознаки потенційних зсувних процесів та суфозії, які можуть призвести до пошкодження або втрати стійкості дамб і гребель.

Для кількісної оцінки ймовірності виникнення надзвичайних подій використовується статистичний аналіз екстремальних гідрологічних явищ. Застосування розподілу Пірсона III чи Генрі

дозволяє оцінювати ризик перевищення критичних навантажень на споруди, що є базою для проектування та планування заходів безпеки [3].

У практиці оцінки ризиків широко застосовують геоінформаційні системи (GIS). Вони дають змогу виконувати просторовий аналіз, картографувати зони потенційного затоплення, визначати критичні інфраструктурні об'єкти та пріоритетні території для захисту, що значно підвищує ефективність управління ризиками.

Таким чином, сучасні методи оцінки ризиків базуються на поєднанні кількісних моделей, моніторингових систем та інструментів просторового аналізу, що дозволяє формувати комплексну картину загроз і своєчасно вживати заходів для запобігання аваріям.

Сучасна методологія оцінки ризиків руйнування гідротехнічних споруд ґрунтується на інтегрованому підході, що поєднує інженерно-технічні, гідрологічні та соціально-економічні індикатори. Такий підхід дозволяє врахувати як фізичні процеси в межах гідротехнічних систем, так і потенційні наслідки для населення та економіки.

Для кількісної оцінки ймовірності виникнення надзвичайних подій використовується статистичний аналіз екстремальних гідрологічних явищ. Застосування розподілу Пірсона III чи Генрі дозволяє оцінювати ризик перевищення критичних навантажень на споруди, що є базою для проектування та планування заходів безпеки [3].

Таким чином, сучасні методи оцінки ризиків базуються на поєднанні кількісних моделей, моніторингових систем та інструментів просторового аналізу, що дозволяє формувати комплексну картину загроз і своєчасно вживати заходів для запобігання аваріям.

Висновки. Здійснений аналіз показав, що глобальні кліматичні зміни є ключовим фактором, який значно підвищує ризики руйнування гідротехнічних споруд. Найбільш вразливими до впливу екстремальних гідрометеорологічних явищ виявляються об'єкти з тривалим строком експлуатації, а також ті, що розташовані у регіонах із зростанням частоти паводків, посух та інтенсивних опадів.

Для зниження рівня загроз необхідним є комплексний підхід, що включає впровадження системного моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд із застосуванням сучасних сенсорних та дистанційних технологій; адаптацію національної нормативної бази до вимог сучасних кліматичних сценаріїв та міжнародних стандартів; застосування інноваційних матеріалів і технологій з підвищеною довговічністю та стійкістю до екстремальних умов; розвиток сценарного прогнозування та GIS-моделювання, що дають змогу оцінювати можливі наслідки аварій та визначати найбільш критичні зони ризику.

В умовах зростаючих кліматичних викликів для України особливо актуальним є створення національної програми адаптації гідротехнічної інфраструктури, яка має базуватися на комплексі інженерних, організаційних та управлінських заходів, а також на інтеграції міжнародного досвіду та сучасних наукових розробок.

[1]. IPCC. Climate Change 2023: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, 2023.

[2]. Державне агентство водних ресурсів України. Звіт про технічний стан гідротехнічних споруд. Київ, 2022.

[3]. Kundzewicz Z. W. et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 2019. Vol. 64(1). P. 1–18.

[4]. Ромашенко М. І., Журавель І. М. Водні ресурси України в умовах кліматичних змін. *Екологічна безпека*, 2020. №2. С. 7–15.

ЛЛЯШЕВИЧ М.М., ШУПЛАТ Т.І., ПОПОВИЧ В.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ В РЕЗУЛЬТАТІ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
79000, вул. Клепарівська, 35, Львів, Україна; tarasshyplat@ukr.net*

Abstract. The materials contain information regarding a complex of dangers for surface aquatic ecosystems that create fires in natural ecosystems of the Zakarpattia region. Fire statistics in natural ecosystems have been presented in seven years. Recommendations aimed at preserving the aquatic ecosystems of the region are presented from the effects of forest fires.

Серед проблем, які здійснюють виразно негативний вплив на компоненти навколишнього природного середовища Закарпатської області, значне місце відводиться пожежам у природних екосистемах, які щорічно приводить до людських жертв, матеріальних та економічних збитків.

Вплив лісових пожеж, на природні екосистеми носить комплексний характер, спричиняючи забруднення атмосферного повітря, поверхні і верхніх горизонтів ґрунтів зони ризогенезу, поверхневих вод, завдають втрат біорізноманіттю. Їх вплив каталізується ще й поступовими кліматичними змінами, в результаті яких зростає ризик виникнення пожеж, втрат площ лісових насаджень та постпірогенних трансформацій вертикальної структури лісових екосистем. Статистика пожеж у природних екосистемах районів області нижче (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна динаміка пожеж у природних екосистемах Закарпатської області

№	Район	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2025 р. (від початку року)
1.	Ужгородський	691	319	395	1013	130	292	399
2.	Мукачівський	399	254	252	560	88	243	407
3.	Берегівський	272	92	106	435	41	178	133
4.	Хустський	205	158	123	366	51	134	214
5.	Тячівський	75	53	55	220	44	117	187
6.	Рахівський	30	31	20	71	9	29	51

В структурі пожеж в природних екосистемах помітне місце займають пожежі в лісах, розподіл яких у межах Закарпатської області представлено у даній таблиці (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна динаміка пожеж у лісових екосистемах Закарпатської області

№	Район	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2025 р. (від початку року)
1.	Ужгородський	18	4	2	23	0	0	3
2.	Мукачівський	24	44	0	10	0	1	1
3.	Берегівський	0	0	1	10	0	0	2
4.	Хустський	5	11	2	5	1	3	9
5.	Тячівський	1	2	0	6	1	1	2
6.	Рахівський	4	4	0	7	0	2	3

Одним із напрямків негативного впливу пожеж у природних екосистемах, є вплив на поверхневі природні води регіону, який сприяє високому рівню водозабезпечення України.

Закарпатська область має багатоводну гідрографічну мережу, яка включає 9429 річок і струмків, 137 озер (з яких 32 постійні водойми), а також річку Тису та її притоки, що впадає у р. Дунай, яка є найдовшою річкою в межах Європейського Союзу, протікаючи 10 країн. Регіон добре забезпечений водними ресурсами завдяки гірському розташуванню та близькості до Карпат, що робить його одним із найбагатших на воду регіонів України.

Проблема збереження водних екосистем Закарпатської області в місцях природних пожеж полягає у забрудненні водойм попелом, згорілими рештками рослин і тварин, що потрапляють у водойми, підвищенні концентрації іонів важких металів (свинець), азоту та фосфору у воді, у погіршенні якості води внаслідок змиву забруднень з обгорілих ділянок призводить до погіршення фізико-хімічних показників води, що негативно впливає на водні організми та стан водних екосистем. Потрапляння попелу призводить до розмноження бактерій, які виводять із води кисень, після чого вода стає каламутною. Після пожеж у водостоках відбувається збільшення концентрації

неорганічних форм азоту та значне зниження розчиненого органічного вуглецю, що супроводжується зміною його молекулярного складу. Як наслідок, формується сприятливе середовище для росту ціанобактерій, які при надмірній кількості пригнічують, умови проживання їхтїофауни.

Негативним наслідком є те, що пожежі у природних екосистемах регіону призводять до загибелі флори і фауни, що порушує баланс водних екосистем і ускладнює їх природне відновлення, втрата рослинного покриву берегової лінії після пожеж призводить до активізації ерозії ґрунтів, до збільшення змиву ґрунту та забруднень водойм, зниження водорегулючої, ґрунтозахисної, санітарно-гігієнічної, природоохоронної ролі лісу, обміління річок та швидкого розмиву їхніх берегів.

Помітним є і вплив на мікроклімат, в результаті якого викиди CO₂ під час пожеж сприяють посиленню парникового ефекту та зміні клімату, що впливає на водний режим річок та озер, призводячи до утруднення процесу самовідновлення екосистем.

Закарпатська область багата на унікальні водні ресурси та екосистеми, які потребують збереження. Проблема пожеж та їх наслідків для водних екосистем є частиною ширшої екологічної проблеми регіону, що потребує комплексного вирішення.

У області діє “Програма охорони навколишнього природного середовища Закарпатської області на 2024-2027 рр.”, яка ставить за мету сприяння покращенню екологічного стану, підвищенню рівня охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Реалізація досягається через: зниження негативного впливу на навколишнє природне середовище, відновлення природного стану порушених територій, зниження споживання природних ресурсів за рахунок здійснення ефективної господарської діяльності, функціонування системи моніторингу довкілля області.

Для збереження поверхневих водойм в зоні впливу пожеж у природних екосистемах, необхідно наступне: 1) Розвивати програми з попередження пожеж та посилення контролю за дотриманням правил поведінки з вогнем у лісових зонах, раннього виявлення та оперативної ліквідації. 2) Проводити роботи з ревіталізації ґрунтів та відновлення рослинного покриву в місцях, пожеж, очищення водойм від попелу та інших забруднень. 3) Здійснювати моніторинг якості води та стану водних екосистем, щоб вчасно виявляти та реагувати на негативні зміни. 4) Сприяти збереженню водоохоронної зони на берегах рік. 5) Проводити заходи по ліквідації стихійних сміттєзвалищ на берегах водойм, які можуть бути осередками загорання. 6) Проведення ефективних лісгосподарських заходів з врахуванням локальних природно-кліматичних, едафічних і ландшафтних умов зростання, врахування регіональних змін клімату.

- [1]. Доповідь про стан навколишнього природного середовища закарпатської області за 2023 р. Ужгород: Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської ОВА, 2024. 148 с.
- [2]. Екологічний паспорт Закарпатської області. Ужгород: Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської ОВА, 2024. 171 с.
- [3]. Левківський С.С., Падун М.М. Раціональне використання та охорона водних ресурсів. Київ: Либідь, 2006. 280 с.
- [4]. Петрушка І.М., Ріпак Н.С., Гивлюд А.М., Шибанова А.М. Екологія поверхневих вод. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 156 с.
- [5]. Попович В.В., Босак П.В. Пожежі у природних екосистемах. Курс лекцій: навчальний посібник. Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2020. 312 с.
- [6]. Програма охорони навколишнього природного середовища Закарпатської області на 2024-2027 рр. URL: https://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=4820

МАКОВСЬКИЙ Є.С., ФЕМ'ЯК В.Р., ВОВК Л.І., ЖУК В.М. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЗАБРУДНЕННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Ст. Бандери 12, Львів, Україна; lesia.i.vovk@lpnu.ua*

Abstract. This study presents a review of scientific materials from the Scopus database on the topic of heavy metal contamination in stormwater runoff. In total, more than 1,000 publications were analyzed to identify leading authors, assess research productivity, and trace thematic development. Bibliometric mapping using VOSviewer revealed research groups, countries, and the most frequent keywords. In addition, over thirty research papers were examined in detail. Nineteen metals were identified in stormwater from areas with different land uses, among which copper, lead, and zinc were the most frequently studied. The analysis demonstrated significant variations in concentrations, which were found to be strongly influenced by weather conditions, catchment characteristics, land use, traffic intensity, and industrial emissions.

Урбанізація, розвиток промисловості та зміни клімату значно збільшили частоту, інтенсивність і тривалість екстремальних погодних явищ, таких як повені, паводки, і як наслідок, підтоплення у містах та забруднення водойм. Ефективне управління дощовими стоками є невід'ємною частиною планування територій та забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій. Атмосферні стоки становлять серйозну загрозу для довкілля та здоров'я людей, оскільки вони містять складну суміш забруднювальних речовин природного та антропогенного походження. Дослідження підтверджують, що саме дощові стоки є одним із основних джерел забруднення водних ресурсів і підвищеної токсичності природних екосистем. Серед різних забруднювачів особливу тривогу викликають важкі метали через їхню високу токсичність та стійкість у водних екосистемах. Важкі метали можуть потрапляти у стоки різними шляхами, зокрема через вихлопні гази транспортних засобів, видобуток корисних копалин, будівництво та інші промислові діяльності.

У цьому дослідженні проаналізовано тенденції світових наукових досліджень щодо важких металів у дощових стоках за допомогою бібліометричного аналізу бази даних Scopus. Оцінювалася наукова активність різних авторів, установ і країн на основі кількості публікацій та цитувань. Крім того, проведено детальний огляд рівнів концентрацій і розподілу металів у різних водозбірних басейнах.

Пошук статей за темою «важкі метали у дощових водах» дав набір даних із 1 350 записів. Аналіз охоплював публікації з 1970 року до 1 липня 2025 року. Серед них 75,3 % були статтями у наукових журналах, 16,1 % – матеріалами конференцій, 5,5 % – оглядовими статтями, 1,7 % – розділами книг, а менше 1 % становили конференційні огляди, звіти, книги чи інші види публікацій.

За даними бази Scopus, перші наукові статті про важкі метали у зливових водах були опубліковані у 1970 році в Journal of the Water Pollution Control Federation. Наукова активність у цій галузі зростала повільно, але стабільно, до 1998 року, коли кількість публікацій досягла дев'яти. Після 2000 року тенденція публікацій значно зросла, досягнувши піку у 77 статей у 2019 році. Для прогнозування подальшого розвитку цієї наукової сфери була застосована апроксимація за допомогою степеневої функції, яка показала високу коефіцієнт кореляції ($R^2 = 0,95$). Отримане рівняння має вигляд:

$$N_{doc} = 0,0052 \cdot (Y - 1970)^{2,42}$$

де N_{doc} і Y відповідно позначають кількість документів і рік.

Кількість цитувань зростала пропорційно збільшенню числа публікацій, що відображає розширення наукової мережі, присвяченої очищенню зливових вод та загальному управлінню зливовими стоками. Загалом, спостережуване зростання наукових публікацій і цитувань свідчить про те, що забруднення зливових вод важкими металами та методи їхнього очищення стали важливим аспектом сучасних стратегій управління зливовими стоками.

Дослідження забруднення дощових вод важкими металами в контексті управління зливовими стоками охоплює широкий спектр наукових галузей і спеціалізацій. Всього серед проаналізованих публікацій було виявлено понад 11 предметних областей. Приблизно 51,5 % публікацій відносяться до екологічних наук, оскільки важкі метали широко досліджуються в контексті охорони довкілля та відновлення природних ресурсів. Значна кількість публікацій також належить до інженерії (13,5 %) та

аграрних і біологічних наук (6,2 %), а деякі роботи стосуються медицини та енергетики - 2,4 % і 1,9 % відповідно. Загалом спостерігається, що багато публікацій охоплюють кілька наукових галузей одночасно, що свідчить про міждисциплінарний характер більшості досліджень забруднення важкими металами. Це підкреслює складність теми та необхідність тісної співпраці фахівців із різних сфер.

Ілюстрація співпраці між країнами на основі наукових досліджень була створена за допомогою програми VOSviewer. Аналіз одержаних карт показав, що роботи авторів із Австралії, Швеції, Сінгапуру та Нової Зеландії мають найбільшу кількість цитувань, тоді як найбільшу кількість публікацій опублікували дослідники, афілійовані в установах США (371 стаття), Австралії (181) та Китаю (175). Зв'язки ключових слів також аналізувались завдяки обробці у VOSviewer обраної бази даних. Візуалізація щільності показала взаємозв'язки між ключовими словами (keywords), які були використані авторами в статтях досліджуваної теми. Найпоширенішими ключовими словами є «важкі метали» та «дощові води», які формують найбільшу мережу зв'язків. Їх доповнюють «якість води», «дощові стоки» та «міська каналізація», які також мають тісний зв'язок із досліджуваною сферою. Усі ключові слова поділені у тематичні кластери: 1-ший кластер виділяє проблеми якості води та забруднення (якість води, міський дренаж, очищення стічних вод); 2-гий кластер зосереджений на осадах і поживних речовинах (осади, фосфор, очищення); 3-тій кластер стосується методів видалення забруднювачів та сорбційних процесів (адсорбція, біофільтрація, мідь, кадмій); 4-тий кластер відображає нові забруднювачі (мікропластик, мікрозабруднювачі); менші кластери пов'язані з практиками управління дощовими.

В даному літературному огляді також виконано комплексний огляд та аналіз наукової літератури щодо вмісту важких металів у зливових стоках, узагальнено вибрані роботи, опубліковані протягом останніх 30 років. Основною метою було визначити як кількісний, так і якісний склад важких металів у дощових водах. Проаналізовані джерела були згруповані за країнами, де проводилися дослідження, що підкреслює географічну різноманітність проблеми. Більшість досліджень зосереджувались на міді (Cu), свинці (Pb) та цинку (Zn). У середньому в кожному дослідженні аналізували до шести металів, причому кадмій (Cd), хром (Cr), залізо (Fe), алюміній (Al) та марганець (Mn) були найпоширенішими додатковими елементами. Лише окремі роботи представляли більш розширені набори даних (10 і більше елементів). Огляд літератури показує, що кількісний та якісний склад зливових стоків залежить від багатьох факторів. На основі систематизації наявних даних ці фактори поділено на три основні групи: метеорологічні характеристики та особливості дощових подій, характеристики території та каналізаційної системи, а також характеристики антропогенного впливу. Узагальнені кількісні дані щодо вмісту хімічних елементів у дощовому стоці представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичне узагальнення концентрацій металів у дощових стоках

Хім елементи	Al	Fe	Sr	Pb	Zn	Mn	Cr	Cu	Ni	As	Cd	Co
C_{min} (µg/L)	10.06	2.31	42	1	0.1	1.71	0.31	1.2	0.31	0.5	0.1	11.91
C_{max} (µg/L)	20·10 ³	20,7·10 ³	5310	2600	1670	1647	250	211	130	70	70	12.59
C_{mid} (µg/L)	4306.03	2034.7	1814.5	335.16	219	277.67	36.64	35.51	36.79	24.07	10.52	12.25

Детальне вивчення концентрацій важких металів у дощових стоках є надзвичайно важливим для вибору ефективних технологій очищення. Знання просторового та часового розподілу забруднювачів стоку впродовж дощів, а також факторів, що можуть впливати на їх якісний та кількісний склад, є необхідним для удосконалення стратегій контролю, методів очистки стоків для забезпечення охорони довкілля та сталого розвитку.

ДОЧИНЕЦЬ В.В., ШУПЛАТ Т.І., ПОПОВИЧ В.В. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ШЛЯХИ ОЧИЩЕННЯ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
79000, вул. Клепарівська, 35, Львів, Україна; tarasshyplat@ukr.net*

Abstract. The materials are devoted to the problems of pollution of the water of the Zakarpattia region, which cause a complex of environmental problems of regional and cross-border nature. The issues of cleaning the mountain rivers of the Zakarpattia region from domestic waste with the possibility of attracting modern technologies and the use of microorganisms-destructors involved in the decomposition of household waste in water, contributing to the purification of water in rivers are considered.

Однією із екологічних проблем, які все більше турбують людство є проблема забруднення поверхневих водних екосистем суходолу. Забруднення річкових екосистем впливає на якість води та водне біорізноманіття. Основними причинами є забруднення цих об'єктів є скидання промислових відходів, побутових стічних вод, пестицидів та пластикових відходів у водойми. Наслідком забруднення річок є погіршення якості води, загибель гідробіонтів, скорочення рибальства та погіршення стану здоров'я населення. Прикладами вкрай забруднених річок у світі є річка Ганг в Індії, річка Трете в Бразилії та річка Янцзи в Китаї.

Багато десятиліть дана проблема має місце і в Україні, зокрема у Закарпатській області. Відсутність сучасних об'єктів поводження з побутовими відходами, як, наприклад, заводи МБО та рециклінгових виробництв на території області на фоні слабо організованої системи централізованого збору та вивозу сміття від населення, створило ситуацію засмічення земель та водних ресурсів області.

Стихійні сміттєзвалища на узбіччях, у лісах, в горах, на берегах річок є звичним явищем. У період сезонних повеней річки несуть своїми водами тонни пластику. Частина такого пластику осідає на берегах Вільшанського водосховища на території НПП «Синевир» (р. Теребля), біля с. Нижні Ремети неподалік заповідного урочища «Атак» (р. Боржава) та біля м. Чоп на кордоні з Угорщиною (р. Тиса). Інша частина відходів далі пливе по р. Тисі у країни Європи, спричиняючи проблеми транскордонного характеру.

Найбільш нагально це питання постає на початку весни та в період паводків, коли стихійні сміттєзвалища, котрі концентруються вздовж берегової лінії і на поверхні води, більше вікриваються людському оку.

У області вже другий рік діє “Програма охорони навколишнього природного середовища Закарпатської області на 2024-2027 рр.”, завданням якої є сприяння покращенню екологічного стану, підвищенню рівня охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів.

Реалізація поставлених завдань досягається через: зниження негативного впливу на навколишнє природне середовище, відновлення природного стану порушених територій, зниження споживання природних ресурсів за рахунок здійснення ефективної господарської діяльності, функціонування системи моніторингу довкілля області.

Очищення гірських річок Закарпатської області від побутових відходів, є вкрай важливим завданням для збереження навколишнього природного середовища, біорізноманіття гідроекосистем.

Для підвищення інтенсифікації даного процесу існують сучасні технології, які можуть бути використані для цієї мети: 1. Системи перехоплення побутових відходів (Спеціалізовані бар'єри та сітки: встановлення фіксованих бар'єрів та сіток вздовж річок для перехоплення плаваючих відходів, які несе річкова течія. Автоматизовані перехоплювачі: використання автоматизованих пристроїв, котрі сприяють перехопленню побутових відходів, рухаючись вздовж дзеркала річки). 2. Екологічні бар'єри (Бар'єри на основі рослин: встановлення бар'єрів, які використовують живі рослини для перехоплення та затримання побутових відходів. Бар'єри на основі мікроорганізмів: використання мікроорганізмів для розкладання побутових відходів та очищення води). 3. Мультисенсорні системи моніторингу (Використання дронів: використання дронів для виявлення зон скупчення побутових відходів та оцінки розміру проблеми. Системи візуального розпізнавання: впровадження систем, які використовують технології розпізнавання зображень для автоматичного виявлення стихійних сміттєзвалищ). 4. Гідроциклонні очисні установки (Очищення води через циклонічні процеси: використання спеціальних гідроциклонів для видалення побутових відходів з води). 5. Аератори для води (Збагачення води киснем: застосування аераторів для підвищення розчинення кисню у воді, що сприяє

активізації бактерій, що розкладають органічні речовини, включаючи побутові відходи). 6. Розвинуті системи фільтрації (Багатофункціональні фільтри: використання фільтрів із спеціальними матеріалами для збільшення ефективності видалення побутових відходів та інших забруднюючих речовин). 7. Відновлення прибережних зон (Зелені технології: використання природних методів відновлення та укріплення прибережних зон для запобігання витоку побутових відходів у водойму). 8. Моніторинг якості води (Датчики та IoT-технології: встановлення датчиків для постійного моніторингу якості води та передачі даних через мережу Інтернет для реагування на проблеми в реальному часі).

Дані технології можуть використовуватися окремо або у поєднанні для максимальної ефективності в очищенні річок від побутових відходів. Значну роль у даному процесі відводиться і допоміжній ролі мікроорганізмів, котрі беруть участь у розкладанні побутових відходів та відповідно в очищенні води у річках.

Дані мікроорганізми можуть природньо існувати в річках або бути додані штучно для підвищення ефективності процесу біорозкладання побутових відходів. При відповідних умовах, такі як належне забезпечення киснем та нутрієнтами, ці мікроорганізми можуть активно приймати участь у процесах очищення води від органічних забруднень.

Ось деякі з них: 1) Бактерії (Псевдомонаси: деякі види псевдомонасів є важливими агентами природного біорозкладання та можуть допомагати у розкладанні органічних речовин у воді. Бактерії роду Флектобактерії: володіють здатністю розкласти хімічні забруднення у воді. Бактерії роду Bacillus: окремі штами бактерій (Bacillus) використовуються в біотехнології для очищення води від забруднюючих речовин). 2) Гриби (Гриби роду Hyphomycetes): важливі для розкладання листя та інших органічних матеріалів, котрі потрапляють до річкової води). 3) Водорості (Мікроскопічні зелені водорості: можуть виробляти ензими, які допомагають у розкладанні органічних сполук). 4) Протисти (Амеби (лімакс амеба): деякі амеби є хижаками, які живляться бактеріями та іншими мікроорганізмами, що може сприяти покращенню екосистем річок). 5) Інші мікроорганізми (Анаеробні бактерії: вони можуть виробляти ензими для розкладання органічних речовин у воді під впливом відсутності кисню).

Оскільки у регіоні поступово повільними кроками налагоджується ефективніша система управління відходами, яка базується на положеннях Закону України “Про управління відходами”, то дуже важливо паралельно інтенсифікувати процеси очищення поверхневих водних екосистем від побутових відходів, котрі вже накопичились за багато років, адже водні ресурси є важливим стратегічним запасом України. Від якості природних вод, їх складу залежить стан навколишнього природного середовища в цілому, а також здоров’я населення зокрема, що є важливими складовими національної безпеки.

- [1]. Доповідь про стан навколишнього природного середовища закарпатської області за 2023 р. Ужгород: Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської ОВА, 2024. 148 с.
- [2]. Ілляш О.Е., Бредун В.І., Чухліб Ю.О. Навчальний посібник «Управління відходами: Частина 1. Управління відходами на регіональному та місцевому рівнях». Полтава: ПП «Астроя», 2021. 187 с.
- [3]. Закон України “Про управління відходами” № 2849-IX від 13.12.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
- [4]. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>.
- [5]. Петрушка І.М., Ріпак Н.С., Гивлюд А.М., Шибанова А.М. Екологія поверхневих вод. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 156 с.
- [6]. Програма охорони навколишнього природного середовища Закарпатської області на 2024-2027 рр. URL: https://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=4820

РИЧАК Т.Л., АРХИПОВА Л.М. (УКРАЇНА, ІВАНО-ФРАНКІВСЬК)

ТЕХНОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ
ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ВПЛИВОМ ТЕС

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна; admin@nung.edu.ua*

Abstract. The impact of thermal power plants on the ecological state of groundwater in adjacent areas has been analyzed. The main trends in anthropogenic pollution, in particular changes in chemical composition, which pose potential risks to natural ecosystems and the quality of drinking water from decentralized water supply systems, have been identified. As a result of field studies, samples of groundwater and wastewater formed under the influence of a thermal power plant were taken. Chemical analysis was performed. Groundwater showed a tendency toward increased pH and hardness, and excessive levels of iron and nitrates were found. The results emphasize the need for enhanced monitoring and the implementation of measures to reduce anthropogenic pressure on the hydrosphere.

Підземні води в умовах зростаючого вододефіциту поверхневих вод залишаються стратегічним джерелом водопостачання, в першу чергу питного, нецентралізованого. В умовах техногенного навантаження діяльності теплової електростанції, що супроводжується утворенням золи, шлаків, значної кількості стічних вод, газопилових викидів, відбувається погіршення якості підземних та ґрунтових вод. Результати досліджень Ranjan, A. et al. (2020) довели існування позитивного зв'язку між золою від спалювання вугілля на теплових електростанціях та концентрацією важких металів у ґрунтових водах у межах впливу підприємства [1]. З огляду на існування нерівномірного розподілу витрат і вигод, пов'язаних з виробництвом електроенергії, дослідження хімічного складу та екологічного стану підземних вод є актуальним для своєчасного виявлення ризиків та забезпечення екологічної безпеки регіону.

Об'єкт дослідження - гідрогеоecологічний стан підземних вод у зоні впливу ВП «Бурштинська ТЕС» АТ «ДТЕК Західенерго».

Бурштинська ТЕС – потужний енергетичний об'єкт. Встановлені потужності підприємства: електрична - 2400 МВт, тепла - 177 Гкал, в т. гарячій воді – 160 Гкал. Обсяг реалізованої продукції підприємством за 2021 р. склав 21 290,9 млн. грн., це 21,8% до всієї реалізованої продукції в Івано-Франківській області. Підприємство здійснює забір свіжої води (22,424 млн. м³). Обсяги фактично використаної свіжої води та витрати води в системах оборотного постачання у 2023 р. становило 22,406 млн. м³, при визначеному ліміті 56,852 млн. м³ [2].

Основним водоносним горизонтом на території дослідження є четвертинний, що є першим від поверхні та який приурочений до алювіальних та делювіальних відкладів піщано-глинистого складу. Залягання вод не глибоке (від 5 до 20 м). Четвертинний горизонт характеризується високою проникністю порід і достатньою водомісткістю, що зумовлює його активне водокористування, в першу чергу, як джерела питного водоспоживання. У питній воді даного горизонту, як правило, фіксуються підвищені сполуки азотної групи [2], проте за наданими результатами хімічного аналізу (2023 р.) вони не перевищують нормативно-допустимі показники.

При проведенні дослідження застосовані: гідрогеоecологічні спостереження; відбір підземних вод у зоні впливу теплової електростанції та стічних вод підприємства; проведений лабораторний аналіз проб води для визначення хімічного складу; зіставлення результатів із санітарно-гігієнічними показниками якості вод (ДСТУ 7525:2014, ДСанПіН 2.2.4-171-10); проведена обробка результатів для оцінки впливу ТЕС на хімічний склад води, виявленні особливості хімічного складу та тенденції до змін.

Для оцінки якості підземних вод води було зібрано 5 проб вод (у період літньої межени 2025 р.) з п'яти різних місць нецентралізованого водопостачання, що знаходяться в зоні впливу ТЕС на різних відстанях та з різними глибинами залягання вод. Проба 1: підземні (питні) води, м. Бурштин (відстань від стаціонарного джерела забруднення (L, км) 10 км, глибина відбору проб (h, м) 4 м). Проба 2: підземні (питні) води, с. Бовшів (L - 2 км, h – 7 м). Проба 3: підземні (питні) води, с. Дем'янів (L – 2,5 км, h – 7 м). Проба 4: підземні (питні) води, с. Куропатники (L – 8 км, h – 9 м). Проба 5: підземні (питні) води, с. Насташино (L – 12 км, h – 6 м).

Хімічний склад підземних вод та нормативні показники для питних вод

Назва речовини	Одиниці вимірювання	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5	За ДСТУ 7525:2014	За ДСанПіН 2.2.4-171-10
місце відбору проб води		49.2642N, 24.6207E	49.2127N, 24.7047E	49.2383N, 24.6357E	49.2839N, 24.6449E	49.2942N, 24.6062E		
pH	-	7,221	6,428	6,392	6,871	6,170	6,5 - 8,5	6,5-8,5
Аміак	мг/дм ³	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		н/в ²⁾
Запах	-	0	0	0	0	0	0	≤3
Прозорість	см	30	28	29	29	30	-	не менше 30 см
Нітрити	мг/дм ³	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,02	≤3,3
Нітрати	мг/дм ³	5	15	4	5	4	5	≤50
Хлориди	мг/дм ³	288	304	256	268	260	250 (350) ¹⁾	≤350
Лужність	ммоль/дм ³	2,9	2,4	3,2	2,9	2,9	н/в	н/в
Жорсткість	ммоль/дм ³	5,5	4,6	5,2	4,6	5,6	7 (10) ¹⁾	≤10,0
Залізо	мг/дм ³	0,464	1,018	0,362	0,318	0,286	0,2 (1,0) ¹⁾	≤1,0
Цинк	мг/дм ³	0,058	0,067	0,042	0,076	0,043	1	н/в
Мідь	мг/дм ³	0,0646	0,00884	0,0952	0,0972	0,0942	1	н/в
Марганець	мг/дм ³	0,0011	0,0002	0,0001	0,0002	0,0004	0,05 (0,5) ¹⁾	≤0,5
Кадмій	мг/дм ³	0	0	0	0	0	Відсутність	н/в
Хром	мг/дм ³	0	0,0001	0,	0	0	Відсутність	н/в

¹⁾ Величину, зазначену в дужках, може бути встановлено за постановою відповідного органу на відповідній території для конкретної системи питного водопостачання на основі оцінювання санітарно-епідемічного стану в населеному пункті і технології підготування питної води, яку застосовують у разі, коли інші джерела питного водопостачання недоступні;

²⁾ не визначається

Аналіз отриманих результатів хімічного стану вод (табл.) вказав, що показник pH досліджуваних проб перебував в межах нормативних значень. Це свідчить про відсутність порушень кислотно-лужного балансу та задовільну якість питної води за цим критерієм. Досить висока прозорість води, що свідчить відсутність завислих частинок, органічних решток, тощо. Проба води №2 мала жовтуватий відтінок. Стосовно нітратів, результати чотирьох проб води знаходились в межах норми (згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ВООЗ). Це свідчить про задовільну якість питної води за цим показником. Зафіксований підвищений вміст нітратів у пробі води, що була зібрана у с. Бовшів, в районі скиду стічних вод підприємством. Такий результат свідчить про локальний техногенний вплив. Вміст хлоридів у підземних водах - 256-304 мг/дм³. Це вказує, що показники знаходились в межах норми для питних вод колодязів (ДСанПіН 2.2.4-171-10) і свідчить про задовільний стан вод та придатність їх до споживання. Слід зауважити, що отримані значення близькі до верхньої межі норми, що вказує на локальний техногенний вплив. Жорсткість вод у межах 4,6-5,6 ммоль/дм³ відповідає нормативним значенням і характеризує їх як помірно жорсткі, що не становить ризику для здоров'я. Вміст заліза знаходився у межах 0,28 – 1,02 мг/дм³, - більшість результатів у межах норми для питних вод. Значення 1,02 мг/дм³ незначно перевищує норматив. Проба води відібрана у с. Бовшів, мала добре помітний жовтий колір та металевий присмак, що знижувало її органолептичну якість. Стосовно вмісту важких металів (цинк, мідь, марганець) результати хімічного аналізу вказали на їх присутність у воді у межах визначених нормативів. Кадмій у досліджуваних пробах води не виявлено. Хром виявлено в одній із проб води, інші проби не містили цього елементу.

Підземні води досліджувальної території загалом відповідали нормативним показникам (pH, нітрити, хлориди, жорсткість), залізо в межах норми. Кадмій не виявлено. Лише в одній пробі зафіксовано вміст хрому, вміст заліза в межах норми та підвищений вміст нітратів. Отримані результати свідчать про локальні техногенні впливи та підкреслюють необхідність систематичного екологічного моніторингу та запровадження заходів, що призведуть до зниження вмісту нітратів, заліза та безпечного водопостачання населення.

[1] Ranjan, A., Mandal, K.K., Kumari, P. (2020). Impact of coal-fired thermal power plant on the drinking water quality of Anpara, Sonbhadra, Uttar Pradesh, India. *Groundwater for Sustainable Development*. Vol. 11. 100395. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100395>

[2] Івано-Франківська обласна державна (військова) адміністрація (2023). Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області за 2023 рік. https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/uploaded-files/_%D0%94%D0%9E%D0%9F%D0%9E%D0%92%D0%86%D0%94%D0%AC_2023.pdf final report on the state of the natural environment in the Ivano-Frankivsk region in 2022.

ĐUKIĆ A., GOVEDARICA O., IVETIĆ D., BABIĆ, B. (REPUBLIC OF SERBIA, BELGRADE)

INFLUENCE OF INFILTRATION AND INFLOW (I/I) ON WASTEWATER TREATMENT EFFICACY

*University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering
Bul. Kralja Aleksandra 73, Belgrade, Republic of Serbia;*

Abstract. While the intrusion of infiltration and rainwater into sanitary sewers is inevitable, excessive inflow poses significant operational challenges for both sewer networks and wastewater treatment plants. This study analyzes the origins and impacts of this extraneous water, with a specific focus on sewer system performance and treatment process efficacy. Within the context of Serbia's accelerated development of sewage networks and construction of wastewater treatment plants, the findings underscore the critical need for immediate and systematic attention to this growing problem.

The clean waters that can appear in the sewerage system include groundwater and surface rainwater runoff. This paper will focus exclusively on clean water inflow into sanitary sewer systems. Groundwater can enter the canals if they are laid below the groundwater level. Additionally, a portion of the water that percolates through the soil can reach the sewer network. Investigations have shown that under conditions of high groundwater levels, infiltration into the canals is inevitable to a lesser or greater extent.

The quantity of this infiltrated water depends on the soil composition, the groundwater level, and the quality and number of joints between the canal pipes, as well as between the pipes and the manholes. The main sources of infiltration into the sewer system are cracks and damage to sewer pipes due to aging or ground movement, faulty pipe connections to manholes or between pipe sections, damage from vegetation roots, the water permeability of manhole walls or bases, and other factors.

Although sanitary sewer systems are designed to convey only domestic wastewater, a portion of stormwater can enter these sewers during rainfall. These volumes are not significant if the sewer system is constructed to a high standard and does not have connections from roof downspouts or certain surface drains.

In such cases, stormwater can enter the sanitary sewers through manhole covers, with an estimated maximum inflow of 0.5 to 2 L/s per cover. This occurs when a water stream approximately 2.5 cm deep forms on the street at that location.

However, if the sanitary sewer system is connected to individual roof downspouts, yard drains, or street inlets, the volume of stormwater during rain events can become substantial (Figure 1.). Furthermore, stormwater inflow can also result from the accidental or intentional cross-connection of storm sewer sections to the sanitary sewer network.

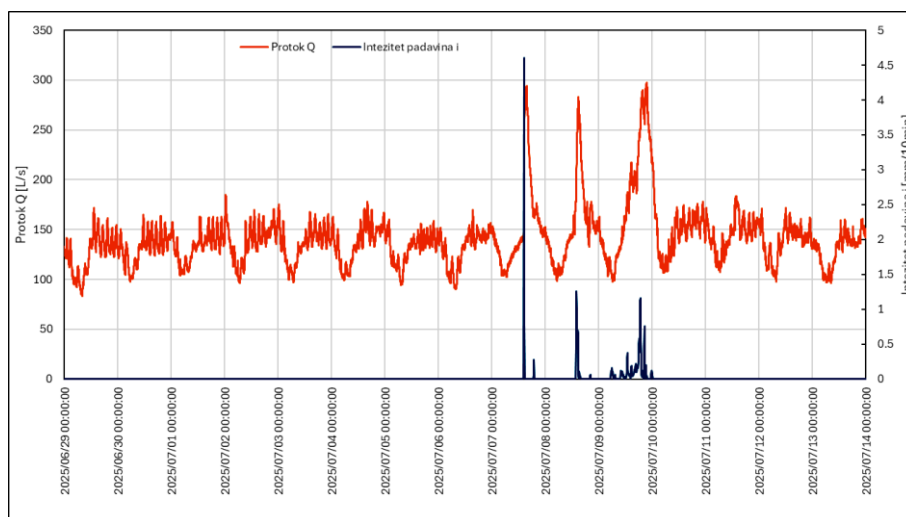


Fig. 1. Wastewater flow and rainfall measurements at the wastewater outlet in year 2025

**ЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОДПІДПРИЄМСТВ
ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

*Національний університет водного господарства та природокористування
33028, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна; v.a.kovalchuk@nuwm.edu.ua*

Abstract. For food industry enterprises wastewater treatment, at the NUWM has been developed a comprehensive technology. Technology involves the preliminary removal of coarse waste from wastewater on grates, sand in sand traps, adjustment of pH and the content of biogenic elements, removal suspended matter (if present, also fats) in flotation tanks, two-stage biological treatment in aeration tanks of increased hydraulic height with surface jet aeration, and additional treatment in aerated filters with floating polystyrene foam loading. The developed technology has been implemented at more than 50 food industry enterprises.

В Україні промислове виробництво харчових продуктів здійснюють понад 22 тис. підприємств, на яких зайнято більше мільйона працюючих. За різними оцінками, продукція харчової промисловості нині складає 15-21% від усієї промислової продукції, що виробляється. Суттєві внутрішні і зовнішні інвестиції в українські підприємства харчової промисловості, а також впровадження міжнародного досвіду стали поштовхом до позитивних змін у галузі, привели до значного покращання якості продукції.

Як свідчать опубліковані дані і результати наших досліджень, стічні води харчової промисловості характеризуються високими концентраціями органічних забруднень і, зазвичай, не містять токсичних домішок. Органічні забруднення стічних вод включають компоненти перероблюваної сировини рослинного і тваринного походження, що, як і всі речовини біологічної природи, можуть бути окислені. У зв'язку з цим біотехнологія очистки стічних вод харчової промисловості природним шляхом включена у загальний біологічний кругообіг біосфери.

Як відомо, найпростішим критерієм біоокислюваності органічних стічних вод служить експериментальне визначення БСК. Якщо ця величина визначається (тобто споживання кисню відбулося), то домішки відносять до біологічно окислюваних. Ступінь біоокислюваності органічних домішок чисельно оцінюють відношенням БСК/ХСК, тобто відношенням кількості органічних домішок, які окислюються біологічним шляхом, до усієї маси органічних домішок, що містяться в стічних водах. Якщо відношення БСК/ХСК $> 0,5$, то для знешкодження органічних забруднень доцільно застосовувати аеробні біологічні методи. На основі аналізу відомих даних можна зробити висновок, що стічні води переважної більшості підприємств харчової промисловості (крім парфумерно-косметичного виробництва і соляної промисловості) можуть бути очищені аеробними біологічними методами.

Успішне здійснення процесу біологічної очистки стічних вод підприємств харчової промисловості можливе лише у випадку забезпечення двох засадничих умов. Перша умова стосується необхідності врахування режиму надходження стічних вод, вмісту в них біогенних елементів, завислих речовин, жирів, коливань рН. Друга умова полягає в необхідності застосування двохступінчастих схем біологічної очистки з огляду на високі концентрації забруднюючих речовин і різні швидкості окислення окремих їх компонентів.

Для очищення стічних вод підприємств харчової промисловості в НУВГП розроблена комплексна технологія, яка передбачає попереднє вилучення із стічних вод крупних відходів на решітках, піску – у піскоуловлювачах, корегування рН і вмісту біогенних елементів, флотаційне вилучення основної маси завислих речовин (за наявності – також і жирів) у відстійниках-флотаторах, двоступінчасту біологічну очистку в аеротенках-відстійниках підвищеної гідравлічної висоти поверхневою струминною аерацією, доочистку на аерованих фільтрах з плаваючим пінополістирольним завантаженням. При скиданні очищених стічних вод у міську каналізацію здійснюється лише попередня та неповна біологічна очистка. Розроблена технологія була впроваджена на більш ніж 50 підприємствах харчової промисловості.

Прикладом такого впровадження є, наприклад, очисні споруди Золотоніського маслоробного комбінату продуктивністю 2000 м³/добу (рис 1).



Рис. 1. Споруди попередньої очистки стічних вод Золотоніського маслоробного комбінату

До складу очисних споруд входять: насосна станція, металевий відстійник-флотатор діаметром 7,2 м, два металеві аеротенки-відстійники діаметром 14,0 м гідравлічною висотою 8,0 м. Кожен аеротенк обладнано системою поверхневої струминної аерації у складі 6 аераторів, об'єднаною із системою рециркуляції активного мулу низьконапірними насосами.

Аеротенк по вертикалі умовно поділяється на три зони: зону аерації, перехідну зону та нижню аноксидну зону. Аерація мулової суміші здійснюється поверхневими струминними аераторами, похиленими під кутом 60° до горизонту. Струминні аератори виконують одночасно декілька функцій: насичують стічну воду киснем повітря; здійснюють безперервну циркуляцію мулової суміші з низу у верхню частину зони аерації; за рахунок швидкісного напору струмینی, разом із розкручуванням мулової суміші у плані аеротенка, створюють її спіралеподібний низхідний рух. У зоні проникання струмін аераторів (зона аерації) має місце трифазна система (стічна вода, активний мул, бульбашки повітря, захоплені струминними аераторами), яка перетворюється на двофазну (стічні води, активний мул) у нижній частині аеротенка. У середній зоні аеротенка внаслідок біохімічних процесів відбувається поступове зменшення концентрацій розчиненого кисню (перехідна зона), який повністю споживається до початку нижньої аноксидної зони. Завдяки цьому в аеротенку за допомогою єдиного активного мулу одночасно здійснюються процеси біологічного окиснення органічних забруднень, нітрифікації та денітрифікації.

Як показали результати досліджень на очисних спорудах маслоробного комбінату, запропонована технологія забезпечує високу ефективність попередньої очистки стічних вод за усіма показниками. Звертає увагу, що в стічних водах підприємства кількість нітратів і фосфатів значно перевищувала їх звичайну концентрацію, характерну для цієї категорії стоків, - відповідно у 20 та у 8 разів. Однак, завдяки перемінному надходженню мулової суміші в аеробну і аноксидну зони аеротенків-відстійників підвищеної гідравлічної висоти відбувається ефективна денітрифікація і дефосфатація навіть при високих значеннях БСК.

Розроблена технологія пройшла виробничу перевірку також на очисних спорудах ЗАТ «Бахмачконсервмолоко», ВАТ «Шосткінський міськмолкомбінат», м'ясокомбінатів (Чернігів, Ніжин, Новгород-Сіверський, Біла Церква), м'ясопереробних комплексів («Росана» в Івано-Франківській області, «Колос» Чернівецької області), птахофабрик (забійний цех птахофабрики ТОВ «Рубі Роз Агрікол КО ЛТД» в с. Морозівка Київської області, забійний цех птахофабрики «Оріль-Лідер» у м. Кам'янське, забійний цех ТОВ «ІндикПродукт» у с. Мамаївці Чернівецької області), підприємств з виробництва концентрованого яблуневого соку (с. Коболчин, «Букофрут» у с. Мамаївці Чернівецької області) та деяких інших.

HURA V. (UKRAINE, LVIV)

ASSESSMENT OF UNCERTAINTY IN FORECASTING AIR POLLUTION CONCENTRATIONS USING MONTE CARLO MARKOV CHAIN METHODS

*Faculty of Electronics and Computer Technologies Ivan Franko National University of Lviv;
volodymyr.gura@lnu.edu.ua*

Abstract. Accurate forecasting of air pollutant concentrations is crucial for public health protection and the development of effective air quality management strategies. However, deterministic prediction models do not account for their inherent uncertainty, which limits their practical value. This work is dedicated to solving this problem by applying Markov Chain Monte Carlo (MCMC) methods to quantify the uncertainty in pollution concentration forecasts and provide reliable confidence intervals for risk assessment.

Forecasting the concentrations of pollutants, such as fine particulate matter PM_{2.5}, is a key task for air quality management systems. Classical deterministic models provide only a point forecast, ignoring the uncertainty associated with the stochastic nature of atmospheric processes and measurement errors. This limits their ability to adequately assess risks to public health, especially the probability of exceeding maximum permissible concentrations (MPCs). The objective of this work is to apply a stochastic approach based on Markov Chain Monte Carlo (MCMC) methods for the quantitative assessment of this uncertainty.

The research is based on a Bayesian approach to statistical modeling. To forecast the pollutant concentration C_t at time t , a multiple linear regression model was used, which considers the influence of a set of meteorological predictors M_{it} (temperature, humidity, wind speed, etc.):

$$C_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i M_{it} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

where β_i are the model coefficients, and ε_t is the random error term, which is assumed to follow a normal distribution $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Within the Bayesian paradigm, the model parameters $\theta = (\beta_0, \dots, \beta_n, \sigma^2)$ are treated as random variables. Their posterior distribution, which is the probability distribution after observing the data D , is determined by Bayes theorem:

$$P(\theta|D) \propto L(D|\theta)P(\theta), \quad (2)$$

where $P(\theta|D)$ is the posterior distribution, $L(D|\theta)$ is the likelihood function of the data, and $P(\theta)$ is the prior distribution of the parameters. Since finding $P(\theta|D)$ analytically is infeasible for most models, an MCMC algorithm was used to approximate it by generating a sample of values from the target posterior distribution.

Based on time series data of PM_{2.5} concentrations and meteorological conditions for the village of Variazh, a simulation using MCMC was performed. As a result, full posterior distributions for the coefficients β_i were obtained, rather than point estimates. This allowed for the construction of a predictive distribution for a future concentration C_{new} , which incorporates parameter uncertainty:

$$P(C_{new}|D) = \int P(C_{new}|\theta)P(\theta|D)d\theta, \quad (3)$$

The practical result is a probabilistic forecast. For example, if a deterministic model predicts a value of 18.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the proposed approach generates a 95% confidence interval, for instance, [17.9, 19.7] $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Such an interval carries significantly more information: it not only shows the most likely range of values but also allows for calculating the probability of exceeding any critical threshold (e.g., an MPC).

The application of MCMC methods is an effective tool for the quantitative assessment of uncertainty in air quality forecasting models. The transition from deterministic point forecasts to probabilistic distributions allows for more informed and reliable decision-making in the field of environmental management and public health. The resulting confidence intervals and probability estimates are key information for early warning systems and for managing risks associated with atmospheric pollution.

КОРОЛЬ К.А., ПОПОВИЧ В.В., БОЙКО Т.В., ПОПОВИЧ Н.П. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

**ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ
ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ***Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
79000, вул. Клепарівська, 35, Львів, Україна; katikincheshi@gmail.com*

Abstract. This study assesses ecological risks to water resources in Western Ukraine during wartime (2022–2025), based on empirical data from Lviv region. A comparative analysis of pre-war (≤ 2021) and war-period water quality reveals substantial deterioration: e.g. BODs in the Poltva River increased from 7–9 mgO₂/L in 2021 to 38–48 mgO₂/L in 2023, while petroleum hydrocarbon spikes (1.4 mg/L in Shchyrets) followed attacks on energy infrastructure. Furthermore, technical wear of treatment systems rose from ~50–60 % to ~55–70 %, accompanied by frequent energy interruptions and reagent shortages. We propose integrated resilience strategies: reserve energy supply, mobile treatment modules, GIS-based real-time monitoring, and institutional crisis protocols. The findings underscore that armed conflict amplifies inherent system vulnerabilities, demanding adaptive and robust approaches to safeguard water security.

Війна в Україні, розпочата у 2022 році, не лише руйнує інфраструктуру безпосередньо в зонах бойових дій, але й спричиняє транзитивні екологічні наслідки у регіонах, які здаються «в безпеці». Західна Україна - Львівщину зокрема - зазнає тиску через порушення енергетики, дефіцити реагентів, навантаження на системи водопостачання від переміщених осіб, що ставить під загрозу водну безпеку. У такому контексті оцінка екологічних ризиків для водних ресурсів набуває критичного значення.

У дослідженні застосовано системний підхід до аналізу характеристик очисних споруд, порівняння їхнього стану в довоєнний і нинішній періоди, виявлення ключових проблем та викликів, а також оцінку якості води в річках Полтва, Стрий і Щирець на основі показника БПК₅. Як базові індикатори були обрані: технічні характеристики споруд; змінні параметри функціонування; перелік функціональних проблем і викликів, що виникли в кризовий період; концентрації БПК₅ у водних масивах Полтви, Стрия і Щирця за часовою динамікою. Це дозволяє аналізувати взаємозв'язки між станом інженерної інфраструктури та якістю води, виявляти тенденції погіршення якості під впливом зовнішніх факторів і формувати практичні рекомендації зі зменшення екологічних ризиків.

Таблиця 1

Порівняльна динаміка БПК₅ у Полтві, Стрию та Щирці в умовах війни

Рік	Полтва, mgO ₂ /L	Стрий, mgO ₂ /L	Щирець, mgO ₂ /L
2021	7–9	5–7	5–7
2022	18–24	8–10	10–12
2023	38–48	12–14	10–15
2024	32–40	9–11	8–12
2025 (на початок року)	28–35	8–10	7–10

Зафіксовано концентрацію нафтопродуктів у р. Щирець досягла 1,4 mg/L після ударів, що в 7 разів перевищує ГДК. Технічний стан очисних споруд, їх знос та інші виклики (енергозалежність, дефіцит реагентів, нерезервність живлення) було порівняно між періодами «до війни» та «під час війни». Методика передбачала порівняння, трендовий аналіз, кореляційні зв'язки між перебоями систем та якісними показниками вод. Якість води погіршилась радикально. У р. Полтва БПК₅ з базового 7–9 mgO₂/L піднявся до 38–48 mgO₂/L у 2023 році - перевищення норми у 4–6 разів. Схожа тенденція спостерігається в Стрию й Щирці. Концентрація нафтопродуктів у Щирці досягла 1,4 mg/L, що сигналізує про екстремальний вплив атак. Рівень зносу споруд інфраструктури зріс від ~50–60 % до ~55–70 %, значно зросла вразливість до аварій та перебоїв. Часті знеструмлення, перебої з постачанням реагентів та зношеність мереж сприяли неконтрольованим скидам, зниженню ефективності біологічного очищення та порушенню стабільності систем. Кореляційний зв'язок показує, що пік БПК₅ та паливних концентрацій суміщається з періодами енергозбоїв та дефіцитів реагентів.

Для забезпечення стійкості систем у кризових умовах пропонуються такі заходи: Резервне енергоживлення (генератори, акумулятори) для насосів і очисних споруд; Мобільні очисні установки для автономного очищення води в кризових зонах; Модернізація мереж та споруд для зниження втрат,

інфільтрацій, підвищення надійності; GIS-моніторинг якості води у реальному часі з інтеграцією сенсорних даних, дистанційного зондування та лабораторного контролю; Розробка протоколів реагування та навчання персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях; Регіональні плани управління водними ресурсами з урахуванням запасів реагентів, альтернативних джерел води та кризового прогнозування.

Результати дослідження підтверджують, що збройна агресія суттєво підсилює екологічні ризики для водних ресурсів у західних регіонах України - через помітне погіршення якісних показників води, деградацію інфраструктури водоочищення та зростання операційних збоїв. Без цілісного, інтегрованого підходу (різноспрямовані технічні, інформаційні та організаційні заходи) відновити функціонування систем «як до кризового стану» стає практично неможливо. Запропоновані інструменти (резервне живлення, мобільні очисні модулі, автоматизований моніторинг, протоколи реагування) мають слугувати основою для побудови адаптивної і стійкої системи водопостачання й водоочищення, здатної протистояти війні та кліматичним викликам.

- [1] Popovych, V. V. (2017). *Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації*. Київ: Міністерство освіти і науки України, Національний авіаційний університет.
- [2] Popovych, V. V., & Kucheryavui, V. P. (2012). Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту. *Пожжежна безпека*, 60-66.
- [3] Skrobala, V., Popovych, V., & Pinder, W. (2020). Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. *Mining of Mineral Deposits*.
- [4] Skrobala, V., Popovych, V., Tyndyk, O., & Voloshchyshyn, A. (2022). Chemical pollution peculiarities of the Nadiya mine rock dumps in the Chervonohrad Mining District, Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*.
- [5] Korol, K. A., Popovych, V. V. (2023). Spectral Analysis Method for Distinguishing Heavy Metals Pollution in the Pioneer Vegetation of Landfills Located within the Prikarpatian Geobotanical District of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(1), 29-37. DOI: 10.12912/27197050/154910
- [6] Департамент екології та природних ресурсів Львівської ОДА. (2024, 31 грудня). До уваги водокористувачів: з 01 січня розпочинається період подання річного звіту № 2ТП-водгосп (річна). Львів. URL: <https://deplv.gov.ua/2024/12/31/do-uvagy-vodokorystuvachiv-z-01-sichnya-rozpochynayetsya-period-podannya-richnogo-zvitu-№-2tp-vodgosp-richna/> deplv.gov.ua
- [7] Департамент екології та природних ресурсів Львівської ОДА. (2024, 16 січня). До уваги водокористувачів: триває прийом звітів про водокористування. Львів. URL: <https://deplv.gov.ua/2024/01/16/do-uvagy-vodokorystuvachiv-tryvaye-pryjom-zvitiv-pro-vodokorystuvannya/>

ПРОБЛЕМИ «ВОДИ» У ЗАКЛАДАХ ГОСТИННОСТІ

*Одеський національний технологічний університет
65039, вул. Канатна, 112, Одеса, Україна; info@ontu.edu.ua*

Abstract. The urgency of the problem of the need to optimize the water supply of hospitality establishments and the introduction of water-saving technologies in them is substantiated. To solve this problem, research, education of environmental awareness, training of future specialists in the hospitality industry and its employees in water saving technologies are necessary.

Нагальність проблем водопостачання та водозбереження для підприємств галузі гостинності, для готельно-ресторанного бізнесу не викликає сумнівів тому, що саме ці заклади є одним з найбільших споживачів води. За даними Всесвітнього альянсу сталої гостинності (World Sustainable Hospitality Alliance - WSHA) готелі використовують близько 1500 л води на 1 людину щодня, а це у 8 разів більше, ніж місцеві мешканці. Таке «водоспоживання» не лише завдає шкоди навколишньому середовищу, створюючи додатковий тиск на інших споживачів води (населення, промисловість тощо), але й збільшує рахунки готелів за воду та енергію, що безпосередньо впливає на їхню фінансову ефективність.

При цьому дослідження свідчать, що в багатьох готелях існує потенційна можливість економії води до 50 %, а це значить, що для готелів існує значний стимул скоротити споживання води, що проблема сталого водокористування є актуальною для підприємств індустрії гостинності – однієї з небагатьох галузей, що досить успішного розвивається в цей час в нашій країні.

Теоретичне обґрунтування і розуміння важливості цієї проблеми для підприємств галузі гостинності містить певна кількість публікацій у вітчизняних часописах, проте практично відсутні проекти та конкретні результати досліджень впровадження інновацій щодо водозбереження у діяльності готельно-ресторанного бізнесу.

Як свідчать перші результати наших пошукових досліджень, лише близько 20 % готельно-рекреаційних закладів у курортному регіоні використовують сенсорні крани, водоефективні душові лійки, модернізовані клапани для туалетів, водозберігаючі системи у пральні тощо. Системи повторного використання стічних вод від номерів та СПА-процедур для змиву в туалетах у обстежених готелях не виявлені, хоча працівники цих закладів гостинності мають певні знання про важливість економії води і енергії, про економічну доцільність таких заходів та інновацій.

Навіть короткий огляд діяльності Всесвітнього альянсу сталої гостинності (це понад 200 тис готелів, понад 8 млн номерів по всьому світу, понад 55 провідних світових готельних компаній та партнерів по ланцюжку створення вартості, понад 50 партнерів по ланцюжку поставок тощо) дозволяє говорити, що для отельєрів, членів WSHA, бути лідером у збереженні води означає не лише відповідати сучасній системі цінностей, але й позиціонувати свої об'єкти і поширювати свій досвід в авангарді зростаючого руху за сталий розвиток, який вже трансформує індустрію гостинності в усьому світі.

Однак, для досягнення культурних змін потрібна підтримка не лише лідерів галузі, а й працівників, гостей та місцевих громад. Підвищення обізнаності та стимулювання сталої поведінки є ключем до довгострокового впровадження таких практик. Для готелів, які використовують ініціативи зі сталого розвитку для залучення та навчання гостей, є притаманним позитивний ефект «хвильового ефекту», оскільки гості перенесуть цей досвід і свою новознайдену екологічну свідомість у повсякденне життя.

Сучасні екосвідомі мандрівники очікують, що заклад зможе забезпечити їм важливий досвід у спосіб, який працює в гармонії з навколишнім середовищем. Дослідження показують, що вони готові платити за це, і «поведінка закладу гостинності» відповідає їхнім очікуванням: понад 30 % споживачів заявили, що готові навіть змінити спосіб подорожей з екологічних міркувань.

Для досягнення культурних змін щодо сталого розвитку та ролі галузі гостинності у цій надважливій справі потрібно не лише знати досвід інших країн, але й проводити дослідницьку роботу, обговорювати та висвітлювати рішення задач водозбереження в закладах готельно-ресторанного бізнесу в нашій країні, навчати майбутніх фахівців галузі гостинності та її працівників технологіям заощадження води.

НИЖНИК Т.Ю.¹, СТІКАЛЕНКО Т.В.² (УКРАЇНА, КИЇВ, ОДЕСА)

ДО ПРОБЛЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ СПЕКОТНОГО КЛІМАТУ

¹НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

²Одеський національний технологічний університет

65039, вул. Канатна, 112, Одеса, Україна; info@ontu.edu.ua

Abstract. The importance of optimizing the methods of water-treatment with adequate quality for the population of the southern regions is undeniable due to the increasing risks to water resources as a result of climate change and anthropogenic damage to water supply conditions. In this paper presents the results of physico-chemical and toxicological studies on the use of the biocidal polymeric reagent "Aquatон-10" for the water-treatment from natural reservoirs of the Republic of Ghana (hot climate region), which allow us to consider the replacement of chlorine reagents with non-oxidizing disinfectants for obtaining drinking water in the southern regions of Ukraine as promising.

Особливості водозабезпечення населення в країнах із спекотним кліматом привертають увагу потребою у необхідності посилення заходів щодо забезпечення належної епідемічної безпечності використовуваної води через підвищені ризики поширення захворювань, що передаються через воду (діареї, дизентерія, холера тощо). До таких країн в останні роки наближається Україна через низку причин, обумовлених як суттєвими змінами клімату (перевищення середньої річної температури на 2°C, особливо в південних областях, зменшення кількості опадів), так і водним стресом (внаслідок військових дій, руйнування Каховського водосховища, погіршення гідрологічних умов, збільшення нагрівання поверхні ґрунту і прискореного випаровування вологи на значній території південних областей України, посухи та буревіїв тощо), що збільшило ризики для сільського господарства та водних ресурсів.

Для необхідного знезараження води і створення умов пролонгованої дії дезінфектантів в умовах помірного клімату і відносно помірних середніх добових температур традиційно використовують реагенти на основі активного хлору (хлор чи гіпохлорити, діоксид хлору, трихлорізоціанурова кислота тощо) або інші реагенти окислювальної дії (УФ-оброблення води, озонування тощо). Проте, при високих температурах довкілля активний хлор швидко випаровується із води та не забезпечує необхідної пролонгованої дії у мережі водопостачання. Це створює потенційну вірогідність вторинного забруднення води у мережі водопостачання, потребує використання збільшених доз знезаражуючих реагентів, що призводить до утворення додаткових кількостей токсичних побічних продуктів оброблення/хлорування води та погіршення її токсикологічних і органолептичних показників якості тощо.

Одним із шляхів вирішення задачі необхідного і достатнього знезараження води в умовах спекотного клімату може бути використання реагентів неокислювальної дії, які стабільні у воді за високих температур і не легкі.

Метою роботи є аналіз результатів натурних досліджень, виконаних в Республіці Гана (регіон екваторіальної Африки), тобто в умовах спекотного клімату. Об'єктами досліджень були два джерела водопостачання міст цієї країни: річка Денсу (водоканал Вейджа, м. Аккра) та річка Какум (водоканал Брімсу, м. Кейп Кост), а також вода, отримана після її оброблення традиційним (коагулянт+хлор) та експериментальним способами (використання біоцидного реагенту комплексної дії «Акватон-10» /ДР - водорозчинний полімер полігексаметиленгуанідину гідрохлорид, ПГМГ-гх; виробник – ТОВ НТЦ «Укрводбезпека», Київ/, що має широкий спектр бактерицидної, віруліцидної, фунгіцидної дії, не леткий, термічно стабільний, безпечний для людей і тварин, і має всі необхідні дозволи МОЗ України і супровідні методичні документи для використання його для знезараження, очищення і консервування води, в тому числі – питної).

Матеріал і методи досліджень. Визначення фізико-хімічних та мікробіологічних показників якості води проводили (за участі авторів цієї роботи) співробітники лабораторій відповідних водоканалів з використанням лабораторного обладнання і методик, які офіційно використовуються в цих лабораторіях для контролю якості води. Залишкові кількості ПГМГ-гх у воді після оброблення її реагентом «Акватон-10» проводили з використанням тест-набору «Акватон-тест».

Токсикологічні дослідження проведені у відповідності до британських стандартів (Республіка Гана є членом Британської співдружності і використовує британські стандарти, в тому числі в медичній та гігієнічній галузях). Для проведення досліджень надано зразки реагенту «Акватон-10», відібрані з

технологічної лінії промислового виробництва реагенту в ТОВ НТЦ «Укрводбезпека», (партія 25; марка А30 /30 % розчин Polyhexamethylene guanidine hydrochloride/; питома вага 1.0; рН 6.1-6.4). Розчин реагенту з представленого концентрату готували з використання деіонізованої води, 0.1 % концентрації.

Гострі та субхронічні дослідження виконані з використанням генетичної лінії щурів Sprague-Dawley (віком 8 тижнів, масою 240-260 г, обидві статі), яких утримували в індивідуальних клітках в приміщенні з контрольованими постійними температурою (+26 °C) та вологістю (40-60 %). (Середньодобова температура у липні 2025 року у м. Одесі становила (+26 °C)).

До початку досліджень проведено акліматизацію дослідних тварин протягом 7 днів в умовах експерименту з регульованими циклами освітленість/темнота по 12 год. Корм (Kosher Feed Mills Ltd, Oso, Accra) і воду дослідні щурі отримували *ad libitum*, проте споживання їх припиняли за 8 год до початку досліджень для забезпечення ефективного поглинання досліджуваного реагенту з травного тракту. Поновлювали харчування щурів через 30 хв після дослідження.

Результати досліджень та висновки.

1. Отримані в умовах спекотного клімату (Республіка Гана) результати натурних досліджень засвідчили ефективність використання біоцидного реагенту комплексної дії «Акватон-10» для очищення води з природних джерел водопостачання та отримання води питної якості в м. Аккра та м. Кейп Кост.

2. Обґрунтовані схеми оброблення природної води з річок Денсу (водоканал Вейджа, м. Аккра) і Какум (водоканал Брімсу, м.Кейп Кост) з одночасним використанням реагенту «Акватон-10» і коагулянту (алюмінію сульфату) в дозах, що були меншими в 1.5 – 2 рази у порівнянні з дозами того ж коагулянту, який використовували у традиційній схемі водопідготовки (коагулянт+хлор). При цьому важливо зазначити, що додатково була усунута потреба у застосуванні калію перманганату та суспензії кальцію гідроксиду, які були необхідними для оброблення природної води з річки Какум (через її особливості - високі забарвленість та мікробна контамінація, каламутність, вміст сполук заліза).

3. Вода, що була очищена по запропонованим схемам, відповідала за фізико-хімічними та мікробіологічними показниками якості вимогам ВООЗ, була безпечною для вживання людиною та зберігала свої показники якості у водопровідній мережі (в точках відбору води у споживачів).

4. Узагальнюючи аналіз отриманих в Department of Pharmacology University of Ghana Medical School - Ghana Food and Drugs Board - результатів гострих та субхронічних токсикологічних досліджень впливу реагенту «Акватон-10» на організм щурів Sprague-Dawley, можна вважати, що вони практично повністю збігаються з результатами досліджень, виконаних у попередні роки фахівцями ЕКОГІНТОКСу (м. Київ) при складанні Токсиколого-гігієнічного паспорту на «Акватон-10», який використано при обґрунтуванні Висновку Державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України на виробництво та застосування цього реагенту у водопідготовці. Екстраполяцію результатів токсикологічних досліджень з тварин на людину, яка використовується в світі і рекомендована ВООЗ, проведено у відповідності з вимогами сучасних регламентів. В гострих дослідях встановлено, що LD50 відповідає 2 мл 7.5 % розчину реагенту «Акватон-10», що еквівалентно 330000 мг/л 0.1 % розчину. Результати токсикологічних досліджень свідчать, що реагент «Акватон-10», використаний для оброблення води з природних джерел Республіки Гана, є безпечним за дослідженими показниками.

5. Рекомендовано для оброблення води з джерел водопостачання в умовах спекотного клімату використовувати реагент «Акватон-10» у концентрації 3 мг/л – при цьому залишкова концентрація у питній воді не повинна перевищувати 1 мг/л (ГДК).

ПРОСКУРНИН О.А.¹, БЄЛОКОНЬ К.В.²,
ДЕМ'ЯНОВА О.О.³ (УКРАЇНА, ХАРКІВ, ЗАПОРІЖЖЯ, ХЕРСОН)

НОРМУВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ В ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

¹НДУ «Український НДІ екологічних проблем»

61165, вул. Євгенія Єміна, 6, м. Харків, Україна; proskurnin_o@ukr.net

²Інженерний навчально-науковий інституту ім. Ю. М. Потебні,

Запорізький національний університет

вул. Університетська, 66, м. Запоріжжя, Україна; kv.belokon@gmail.com

³Фізична особа-підприємець, Херсон, Україна; olga.demvdem55@gmail.com

Abstract. It is noted that military operations in Ukraine since the onset of Russian aggression have caused significant environmental damage. Therefore, during the post-war urban reconstruction period, it is proposed to use an optimization method to regulate anthropogenic loads on water bodies. The optimization criterion should be the minimum cost of wastewater treatment.

Масштабні бойові дії, які відбуваються в Україні з 2022 року, завдали значну шкоду навколишньому природному середовищу. Зокрема це стосується поверхневих водних об'єктів (ВО), які постраждали внаслідок, перш за все, наступних факторів:

- безпосереднє забруднення води токсичними речовинами боєприпасів та паливом знешкоджені броньованої та авіаційної техніки;
- потрапляння до ВО забруднюючих речовин внаслідок зруйнованих промислових об'єктів;
- потрапляння до ВО забруднюючих речовин з дощовими та талими водами з забруднених воєнними діями територій.

У короткочасний період перші два фактори є більш значущими. Але третій, що пов'язаний з поверхневим стоком з водозбірної території, є довгостроковим, оскільки його дія не зупиниться з зупинкою бойових дій. Тільки повне очищення усіх водозбірних територій від залишків бойової техніки та токсичних речовин боєприпасів усуне цей фактор забруднення.

У період післявоєнного відновлення держави у постраждалих регіонах буде мати місце суттєве техногенне навантаження на ВО. Необхідно буде здійснити не тільки відновлення виробництва, а побудувати нові заводи. Зокрема виникне необхідність розвитку воєнно-промислового комплексу (ВПК) з метою надійного захисту держави від будь-якого агресора. Заводи ВПК є значним джерелом потрапляння забруднених виробничих та господарсько-побутових стічних вод до ВО. Крім ВПК, у країні буде потреба у виробництві будматеріалів, сільгосптехніки, хімічної продукції та ін.

Особливо гостро стоїть проблема на тимчасово окупованих територіях, де відсутній який-небудь контроль за станом довкілля.

Екологічна проблема буде загострюватися важливим об'єктивним фактором – низьким забезпеченням країни водними ресурсами у порівнянні з багатьма європейськими країнами. Тому бачиться доцільним частково повернутися до практики оптимізаційного підходу до нормування скидів стічних вод (СВ), яка діяла в Україні до 1994 року, з урахуванням ряду його удосконалень [1].

Можливі два оптимізаційні підходи до забезпечення екологічної безпеки скидання СВ. Один з критеріїв – це максимальне техногенне навантаження на ВО, що не призводить до наднормативної забрудненості ВО. Однак, оптимізація за цим критерієм недостатньо враховує реальні можливості очисних споруд. Тому такий спосіб нормування рекомендується застосовувати при реконструкції очисних споруд для знаходження їхніх параметрів, які потім будуть покладені у технічне завдання.

Другий можливий варіант оптимізаційного підходу до екологічного нормування, що рекомендується як основний при управлінні екологічною безпекою водовідведення, полягає у мінімізації витрат на водоочищення. При цьому розглядаються можливі технологічні маршрути потоку СВ при очищенні. Функція мети в оптимізаційній задачі при відсутності випусків теплообмінних СВ має вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} \left(f_e(\{x_{irj}\}, \{q_{ir}\}) + \frac{f_{kan}(\{x_{irj}\}, \{q_{ir}\})}{31536000 \cdot T_{ir}} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де f_e, f_{kan} – відповідно експлуатаційні (гн/м³) та капітальні (тис. грн) витрати на очищення; i, j, r – відповідно індекси випуску СВ, забруднюючої речовини та технологічного маршруту; R_i – кількість технологічних маршрутів; T_{ir} – термін експлуатації очисних споруд на відповідному маршруті, років.

Концентрація j -речовини у зворотній воді випуску i знаходиться за формулою:

$$x_{ij} = \frac{\sum_{r=1}^{R_i} q_{ir} \cdot x_{irj}}{\sum_{r=1}^{R_i} q_{ir}}. \quad (2)$$

Обмеження оптимізаційній задачі наступні:

$$\begin{cases} y_{jk} \leq ГДК_j, \\ x_{ij} \leq C_{факт,j}^i, \\ x_{ij} \geq ГДК_j, \\ \sum_{r=1}^{R_i} q_{ir} = q_i, i = 1 \div m; \end{cases} \quad (3)$$

де $C_{факт,j}^i$ – фактична концентрація речовини у СВ.

(Більш складний від оптимізаційної задачі при наявності випусків теплообмінних СВ, з урахуванням комплексних показників якості води та з використанням екологічних критеріїв наведений в роботі [1].)

Також бажано враховувати імовірнісний характер факторів забруднення. У цьому випадку розрахункова якість річкової води у контрольному створі буде представляти імовірнісну функцію [2]. Тоді замість першого рівняння в системі обмежень (3) буде наступне:

$$P(y_{jk} \leq ГДК_j) \leq 1 - \alpha, \quad (4)$$

де P – позначення імовірності; α – допустимий рівень ризику.

Висновок. Під час післявоєнного відновлення пропонується нормування антропогенного навантаження на водні об'єкти здійснювати оптимізаційним методом. За критерій оптимізації обрати мінімум коштовних витрат на очищення стічних вод. При тому доцільно враховувати імовірнісний характер факторів забруднення ВО.

- [1]. Проскурнін О.А. Науково-методологічні основи екологічного нормування скиду зворотних вод до річкової системи: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 21.06.01. Київ, 2021. 38 с.
 [2]. Proskurnin, O., Malovanyy, M., Belokon, K., Rybalova, O., Ivashchenko, T., Tsapko, N., Stepova, O. Establishing Environmental Standardization of Wastewater Composition Based on Environmental Risk Assessment. 2022. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 139–146. <https://doi.org/10.12911/22998993/153602>.

СЕРЕДА А.В., ВРОНСЬКА Н.Ю., СЛЮСАР В.Т. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА СТАН І ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Національний університет "Львівська політехніка"

79013, вул. Степана Бандери 12, Львів, Україна; anastasiia.sereda.eo.2022@lpnu.ua

Abstract. Climate change in Ukraine manifests itself through rising average annual temperatures, changes in precipitation patterns, and increased frequency of extreme weather events. These phenomena negatively affect agriculture, water resources, biodiversity, and human health. The paper highlights the main trends of climate change in Ukraine and the need for adaptation measures to mitigate its negative effects.

Зміна клімату є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Вона спричиняє різкі погодні коливання, шторми, паводки, посухи та інші екстремальні явища, що завдають значних екологічних і економічних збитків. За даними Всесвітньої метеорологічної організації, останні роки були найспекотнішими за весь час спостережень. Підвищення температури та рівня океану загрожує продовольчій безпеці та спричиняє нові катастрофи.

Згідно з Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату, лише третина глобального потепління зумовлена природними чинниками, решта – діяльністю людини, зокрема зростанням викидів парникових газів. Паризька угода 2015 року передбачає обмеження підвищення температури до 1,5-2°C, проте за оцінками ООН, світ рухається до потепління на 3,2°C до 2100 року. Хоча 121 країна заявила про намір досягти вуглецевої нейтральності до 2050 року, це охоплює менше 25% глобальних викидів.

Зміна клімату є однією з головних екологічних проблем сучасної України. Вона проявляється у зростанні середньорічних температур, зміні режимів опадів, зростанні кількості посух, паводків і сильних буревіїв. В Україні середня річна температура з початку XX століття зросла більш ніж на 2°C, з них 1,2°C – за останні три десятиліття. Частішають посухи, хвилі спеки, зливи, град і шквали, збільшується пожежна небезпека. Це створює серйозні ризики для здоров'я людей, екосистем, водних і лісових ресурсів, енергетики та сільського господарства, спричиняючи значні екологічні й економічні втрати.

Україна має один із найнижчих рівнів забезпеченості водними ресурсами в Європі – лише близько 1 тис. м³ місцевого стоку на особу, тоді як у Канаді цей показник становить 94,3 тис. м³, у США – 7,4 тис., у Німеччині – 1,9 тис. м³. Водночас існують значні регіональні відмінності: від 0,14 км³/рік у Херсонській області до 7,92 км³/рік у Закарпатті. Стік малих і середніх річок зменшився на 10–50%, особливо на півдні.

Кліматичні зміни спричиняють зниження рівня підземних вод через зменшення живлення та зростання випаровування, як це сталося у 2019 році в Шацькому поозер'ї, коли обміліли озера, зокрема Світязь. За наявних тенденцій запаси поверхневих і підземних вод надалі скорочуватимуться, а протягом 15-20 років можуть зменшитися утричі. До середини XXI століття зволоження знизиться на 15-22%, межа аридності просунеться на північ, а водність у південних і східних регіонах зменшиться на 50-70%. Степова зона охопить до 40% території, а водні ресурси півдня в маловодні роки можуть скоротитися до 90%. Найбільший ризик виникне при втраті понад половини водних запасів.

Зміна клімату істотно впливає на водне господарство, змінюючи природний режим річок, озер і підземних вод, а також створюючи нові виклики для управління водними ресурсами. Підвищення температури, нерівномірність опадів, посухи та паводки ускладнюють забезпечення стабільного водопостачання для населення, сільського господарства та промисловості. Водночас збільшується ризик забруднення водних об'єктів і деградації водних екосистем. Для зменшення негативних наслідків необхідно впроваджувати адаптивні стратегії управління водними ресурсами, орієнтовані на раціональне використання, повторне застосування та охорону вод. Важливим є розвиток сучасних систем моніторингу, підвищення ефективності очисних споруд і впровадження природоорієнтованих рішень для регулювання стоку. Зміна клімату також відкриває можливості для модернізації водної інфраструктури, впровадження інноваційних технологій очищення та збереження води. Успішна адаптація водного господарства потребує інтегрованого підходу, міжгалузевої співпраці та врахування екологічних, соціальних і економічних аспектів управління водними ресурсами.

МАТВІЙВ П.В., ТИМЧУК І.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; petro.v.matviiv@lpnu.ua

Abstract. Biogas technologies at municipal wastewater treatment plants provide an efficient way to recover energy and reduce waste. Anaerobic digestion converts sewage sludge into biogas and digestate, producing renewable energy while lowering greenhouse gas emissions. In the EU, such systems achieve up to full energy self-sufficiency at large facilities. In Ukraine, over one million tons of sludge are generated annually, but most plants still lack biogas units and rely on outdated infrastructure. Integrating anaerobic digestion could cut energy costs and environmental impacts. Main barriers include high costs, limited funding, and lack of expertise. Pilot projects with municipal and international support can drive Ukraine toward energy-efficient, circular wastewater management.

Сучасні тенденції у сфері водопостачання та водовідведення орієнтовані на енергоефективність, скорочення викидів парникових газів і повторне використання ресурсів. Комунальні очисні споруди можуть бути не лише об'єктами очищення стічних вод, а й джерелами відновлюваної енергії завдяки анаеробному зброджуванню осаду. У країнах ЄС такі технології вже інтегровані у системи водного господарства, що дозволяє скорочувати витрати енергії, стабілізувати осад і зменшувати вплив на довкілля. В Україні ж потенціал біогазових технологій реалізований частково: більшість очисних споруд працюють за традиційними схемами без утилізації осаду чи виробництва енергії.

Анаеробне зброджування осаду – це розклад органічних речовин у безкисневих умовах із утворенням біогазу (метан і CO_2) та стабілізованого залишку – дигестату. Біогаз використовується як паливо для виробництва електроенергії й тепла, а дигестат – як добриво або компонент для компосту. Біореактор, інтегрований у схему очисної станції, дозволяє покривати значну частину енергопотреб підприємства та знижувати витрати. Європейський досвід підтверджує, що на великих станціях (понад 100 тис. мешканців) можна досягати енергетичної автономії до 100 %, а також суттєво скорочувати обсяги осаду й неприємні запахи.

В Україні щороку утворюється понад мільйон тон осаду стічних вод, більшість якого накопичується на мулових майданчиках або полігонах. Цей осад має високий вміст органічної речовини, що робить його придатним для зброджування. Більшість очисних споруд збудовані у 1970–1990-х роках і потребують модернізації, що відкриває можливості для впровадження енергозберігаючих технологій. Національні стратегії з енергоефективності та управління відходами створюють нормативне підґрунтя для розвитку біоенергетики, зокрема через стимулювання утилізації та перероблення замість захоронення.

Використання біогазових систем дозволяє скоротити кількість відходів, зменшити викиди метану, знизити витрати на енергопостачання насосного та аераційного обладнання. Це може зменшити експлуатаційні витрати підприємств на 30–50 %. Дигестат, отриманий після зброджування, має нижчий вміст патогенів і запахів та може застосовуватись для рекультивації земель, сприяючи замиканню циклу речовин. Основні бар'єри впровадження біогазових технологій в Україні – висока вартість обладнання, нестача фінансування й фахівців, а також відсутність ринку використання дигестату. Перспективним напрямом є демонстраційні проекти на базі великих комунальних підприємств у співпраці з муніципалітетами, міжнародними організаціями та приватними інвесторами. Фінансування може бути залучене з європейських програм, спрямованих на енергоефективність та декарбонізацію.

Біогазові технології на комунальних очисних спорудах – ефективний інструмент підвищення енергетичної незалежності, зменшення екологічного навантаження та раціонального використання ресурсів. Україна має значний потенціал для їх впровадження, особливо в межах модернізації інфраструктури та переходу до принципів циркулярної економіки. Розвиток цього напрямку вимагає поєднання технологічних рішень із фінансовою підтримкою й удосконаленням законодавства. Запуск пілотних проектів стане важливим кроком до підвищення ефективності водного господарства та зменшення впливу комунальної інфраструктури на довкілля.

КАРАЧУН М.С., ТИМЧУК І.С., СЕРЕДА А.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

РОЛЬ ДОЩОВОГО СТОКУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; maksym.s.karachun@lpnu.ua

Abstract. In the context of climate change and the intensification of urbanization processes, the issue of effective stormwater management is becoming increasingly important. Traditional drainage systems are primarily designed for the rapid removal of runoff beyond urban areas, which leads to overloading of collectors, flooding, and the deterioration of aquatic ecosystems. An alternative approach involves the implementation of nature-based solutions that combine the retention, treatment, and reuse of rainwater to support the functioning of green urban ecosystems.

Зростання частоти інтенсивних опадів, підвищення середніх температур і ущільнення міського простору спричиняють істотні зміни у гідрологічному балансі міст. Непроникні поверхні – асфальт, бетон, покритві – значно знижують інфільтраційну здатність ґрунту, що призводить до збільшення обсягів поверхневого стоку та забруднення водоприймачів завислими речовинами, нафтопродуктами, важкими металами. Водночас дощовий стік є потенційно корисним ресурсом, який може бути використаний для зволоження зелених насаджень, живлення ґрунтів і підтримання мікроклімату в межах урбанізованих територій.

Зелені міські екосистеми – це не лише декоративний елемент, а важлива складова екологічної стабільності міського середовища. Використання дощового стоку у таких системах сприяє зменшенню споживання питної води для поливу, підтримує вологоємність ґрунту, сприяє виживанню рослин у посушливі періоди та підвищує загальну стійкість урбаністичних ландшафтів. Крім того, збереження дощової води у біоретенційних або інфільтраційних структурах дозволяє знизити навантаження на каналізаційні мережі під час пікових опадів, зменшити ризик підтоплень та запобігти виносу забруднюючих речовин у водні об'єкти. Завдяки природним процесам фільтрації й біорозкладу у ґрунтово-рослинному шарі поліпшується якість поверхневих стоків.

Використання дощової води у зелених міських системах реалізується через низку природоорієнтованих підходів. До них належать: дощові сади – ділянки з вологолюбною рослинністю, які приймають поверхневі стоки з прилеглих твердих поверхонь і забезпечують їх поступову інфільтрацію; біоретенційні басейни – елементи, що акумулюють частину опадів, очищують їх від завислих частинок і поступово повертають у підґрунтові води; зелені дахи та стіни – утримують частину опадів, сприяють випаровуванню вологи, зменшуючи обсяги стоку; інфільтраційні смуги й газони – забезпечують природну фільтрацію і затримку дощової води.

Такі системи не лише регулюють гідрологічний режим міських територій, а й формують сприятливі умови для розвитку флори та фауни. Вони підвищують біорізноманіття, покращують естетичний вигляд міського середовища та знижують температуру повітря у спекотні періоди. Інтеграція систем утримання дощового стоку у структуру міських зелених екосистем має комплексний позитивний ефект: зменшується навантаження на централізовані системи водовідведення та очисні споруди; покращується якість поверхневих вод завдяки природним механізмам очищення; відбувається стабілізація мікроклімату, зниження шумового та пилового забруднення. Крім того, створення зелених зон з водними елементами сприяє підвищенню соціального комфорту мешканців та формуванню екологічної свідомості населення.

Дощовий стік є невід'ємним компонентом міського водного балансу, який при раціональному використанні може перетворитися з проблемного чинника на важливий елемент екологічної стійкості. Його залучення у функціонування зелених міських екосистем дозволяє зменшити обсяги поверхневих стоків, покращити якість водних ресурсів, підвищити біорізноманіття та сприяти адаптації міст до кліматичних змін. Розвиток систем локального збору, очищення та використання дощової води має стати невід'ємною частиною сучасної міської екологічної політики. Поєднання природних процесів та інженерних рішень забезпечує ефективне функціонування зелених урбанізованих комплексів, сприяючи формуванню стійкого та комфортного міського середовища.

НАРОЛЬСЬКИЙ Ю.В., СЛОБОДАНЮК І.Р., ТИМЧУК І.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

ЦИРКУЛЯРНИЙ ПІДХІД У СИСТЕМАХ ВОДОКОРИСТУВАННЯ

*Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна*

Abstract. Modern water systems face increasing pressure from global challenges such as freshwater scarcity, urbanization, and climate change. The linear “take–use–dispose” model of water management no longer meets sustainability and environmental safety goals. This paper examines the principles of circular water use as a transition toward resource-efficient and resilient systems. The analysis highlights key technological solutions—water reuse, nutrient and energy recovery, and smart digital control—that enable closed water cycles and minimize losses. Implementing circular approaches reduces freshwater demand, mitigates pollution, and enhances the energy efficiency of treatment infrastructures. For Ukraine, the integration of these practices requires updated legislation, pilot projects, and strengthened institutional capacity to advance sustainable water management.

Сучасні водні системи зазнають впливу низки глобальних викликів – дефіциту прісної води, інтенсивної урбанізації та наслідків зміни клімату. Традиційна лінійна модель водокористування за принципом «забір – використання – скидання» уже не відповідає вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки. Зростання водоспоживання у комунальному, промисловому та аграрному секторах зумовлює необхідність зміни парадигми управління водними ресурсами. Проблему посилює те, що водогосподарська інфраструктура в більшості країн сформувалася десятиліття тому й не відповідає сучасним умовам споживання та кліматичним викликам. Зношені мережі, низький рівень моніторингу та застарілі технології очищення призводять до значних втрат і забруднення вод. Додатковим викликом є зростання кількості забруднювачів нового покоління – фармацевтичних сполук, мікропластику, стійких органічних речовин – які не видаляються традиційними методами очищення. Унаслідок цього водні екосистеми стають дедалі вразливішими, а потреба в модернізації систем водопостачання та водовідведення набуває стратегічного значення.

В умовах зростаючого антропогенного навантаження циркулярний підхід пропонує не лише технологічні, а й управлінські рішення, спрямовані на інтеграцію відновлення ресурсів, повторного використання води та перехід до більш гнучких моделей водокористування. Перехід до циркулярної моделі «забір – використання – відновлення – повторне використання» відкриває можливості для скорочення втрат, зменшення впливу на довкілля та комплексного відновлення водного потенціалу. Метою даної роботи є розгляд принципів циркулярного водокористування, характеристика сучасних технологій та аналіз перспектив їх упровадження, зокрема в українських реаліях. У багатьох країнах уже фіксуються випадки, коли традиційні системи водопостачання не справляються з піковими навантаженнями, що призводить до сезонних обмежень або деградації джерел води. Це актуалізує необхідність пошуку рішень, які поєднують технологічну модернізацію з раціональним природокористуванням.

Циркулярна економіка ґрунтується на принципах замкнених циклів використання ресурсів, мінімізації відходів і скорочення втрат. У водному секторі це означає не лише очищення стоків, а й повернення води до обігу, вилучення корисних компонентів і зменшення обсягів скидання. Важливою передумовою є переосмислення води не як одноразового ресурсу, а як багатофункціонального потоку, що містить енергетичний, хімічний і тепловий потенціал. Таким чином, стічні води розглядаються не як відходи, а як вторинна сировина, яка може бути повернута до економічного обігу.

Циркулярне водокористування розглядається як ключовий елемент сталого управління водними ресурсами. Воно передбачає реалізацію кількох взаємопов'язаних напрямів: повторне використання очищених стічних вод у побуті, промисловості та сільському господарстві; відновлення біогенних елементів і енергії, що містяться у водних стоках; скорочення втрат у водопостачальних мережах завдяки інтелектуальному управлінню та модернізації інфраструктури; локалізацію водних циклів на рівні підприємств, територіальних громад чи промислових кластерів.

Поєднання екологічних та економічних чинників робить циркулярний підхід привабливим для муніципалітетів, промислових підприємств і аграрного сектору. Додаткову роль відіграє посилення екологічних стандартів і вимог до водокористувачів, що стимулює інновації та партнерство між державним, приватним і науковим секторами.

Циркулярна модель реалізується через інтеграцію комплексу технологічних рішень, які забезпечують не лише очищення, а й відновлення ресурсів. Виділяють три основні напрями її реалізації.

1. Повторне використання очищеної води в технічних цілях. Це дозволяє суттєво скоротити споживання прісної води. Такі потоки застосовуються у системах зрошення, охолодження промислового обладнання, виробничих циклах і для миття вуличних територій. Для забезпечення належної якості води використовуються мембранні технології – ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос. Вони забезпечують видалення мікробрудновачів, солей, органічних сполук і мікроорганізмів. У країнах із дефіцитом водних ресурсів, зокрема в Ізраїлі та Сінгапурі, повторне використання очищених стічних вод стало базовим елементом водної політики. Європейські держави також упроваджують пілотні та повномасштабні проекти у комунальному й аграрному секторах.

2. Відновлення енергії та корисних компонентів. Стічні води містять значну кількість органічних речовин, біогенних елементів і тепла, які можуть бути повторно використані. Анаеробне зброджування осадів забезпечує виробництво біогазу, що може застосовуватися для теплопостачання або виробництва електроенергії. У деяких технологічних схемах передбачене вилучення фосфору у формі струвиту, а також азоту й органічних сполук для подальшого використання як добрив або вторинної сировини. Тепловий потенціал стічних вод може бути використаний за допомогою теплових насосів для опалення та підігріву води. Такі практики поступово інтегруються в інфраструктуру великих міст і промислових підприємств.

3. Цифровізація управління водними потоками. Цифрові платформи та системи типу Smart Water забезпечують моніторинг якості води, контроль втрат і оптимізацію мережевих потоків у режимі реального часу. Завдяки сенсорам, автоматизованим клапанам і аналітичним алгоритмам підвищується ефективність управління, зменшуються втрати та енергоспоживання. Цифровізація також дозволяє своєчасно виявляти аварійні витоки, прогнозувати споживання та адаптувати графіки подачі води відповідно до потреб користувачів. Такий підхід підтримує концепцію локальних водних циклів і сприяє підвищенню ефективності інфраструктури.

Запровадження циркулярного водокористування сприяє одночасному досягненню екологічних і господарських цілей. Зменшення обсягів скидання недостатньо очищених стоків знижує навантаження на природні водойми та запобігає деградації водних екосистем. Водночас повторне використання технічної води скорочує потребу у заборі прісних ресурсів, що особливо важливо для вододефіцитних територій. Повернення енергії та біогенів створює додаткову продукцію – біогаз, добрива або вторинну сировину. Економія енергоресурсів і зменшення експлуатаційних витрат розширюють можливості модернізації інженерної інфраструктури, що підвищує рівень екологічної безпеки населених пунктів і промислових зон.

В Україні впровадження циркулярних підходів у водному секторі стримується низкою інституційних і нормативних бар'єрів. Законодавча база лише частково регламентує повторне використання очищених стічних вод, а питання вилучення біогенних елементів і теплової енергії поки що не інтегроване у систему управління ресурсами. Актуальним завданням є оновлення державних стратегій водокористування з урахуванням принципів циркулярної економіки. Перспективи впровадження таких практик існують у промислових регіонах, аграрному секторі та комунальному господарстві. Пілотні проекти можуть стати основою для масштабування технологій повторного використання води та енергетичного відновлення осадів. Важливе значення має також підготовка фахівців і популяризація успішних міжнародних прикладів.

Загалом циркулярний підхід у системах водокористування формує нову парадигму управління ресурсами, орієнтовану на повторний обіг води, вилучення корисних компонентів і мінімізацію втрат. Його розвиток є ключовим чинником переходу до сталого водного сектору, здатного ефективно реагувати на виклики дефіциту ресурсів, кліматичних змін та інтенсифікації урбанізації. Впровадження сучасних технологій очищення, цифрових систем управління та ресурсної рекуперації дозволяє поєднати екологічну відповідальність з економічною ефективністю. Для України перспективним напрямом є вдосконалення нормативної бази, розроблення демонстраційних проектів і стимулювання інновацій у сфері водного господарства.

РОМАНОВИЧ Б.М., ТИМЧУК І.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД У ЦІННІ ВТОРИННІ ПРОДУКТИ

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна; bohdan.m.romanovych@lpnu.ua

Abstract. Wastewater sludge management remains a critical environmental issue requiring sustainable and cost-effective solutions. The study analyzes key biotechnological methods of sludge treatment—anaerobic digestion, composting, and microbial fermentation—as effective approaches for stabilization, pathogen reduction, and resource recovery. These technologies enable the conversion of waste into biogas and biofertilizers while minimizing ecological risks. Integration of such processes within a circular economy framework enhances the environmental and energy efficiency of wastewater treatment systems.

Проблема накопичення осадів стічних вод є однією з найактуальніших для сучасних систем водовідведення та очищення стічних вод, оскільки їх утворення є невід’ємною складовою роботи кожних очисних споруд. Щороку на комунальних та промислових підприємствах утворюються значні обсяги осадів, що потребують екологічно безпечної утилізації або подальшої переробки. Ці осадки містять значну кількість органічних речовин, біогенних елементів і мікроелементів, які потенційно можуть бути використані як вторинний ресурс для виробництва енергії, добрив або матеріалів. Водночас, без належного знешкодження та стабілізації вони становлять серйозну екологічну небезпеку через наявність патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів, важких металів, токсичних органічних сполук та мікропластику. Неналежне поводження з осадами призводить до вторинного забруднення ґрунтів і вод, погіршення санітарно-епідемічного стану територій і створює ризики для здоров’я населення.

Сучасні тенденції розвитку систем водовідведення орієнтовані на впровадження технологій замкнутого циклу, у межах яких відходи розглядаються не як небезпечний залишковий продукт, а як джерело корисних компонентів і відновлюваної енергії. Біотехнологічні методи переробки осадів стічних вод дозволяють реалізувати цей підхід, забезпечуючи не лише знезараження та зменшення токсичності, але й отримання цінних вторинних продуктів, придатних для подальшого використання. Вони базуються на природній здатності мікроорганізмів до біохімічного розкладання органічних речовин і забезпечують екологічну стабільність процесів. Метою даної роботи є узагальнення основних біотехнологічних підходів до переробки осадів стічних вод і визначення їхнього потенціалу для створення ресурсів повторного використання в контексті принципів циркулярної економіки.

Попри високий потенціал біотехнологічних методів, в Україні їхнє впровадження залишається обмеженим. Більшість очисних споруд функціонує за застарілими схемами механічного або частково біологічного очищення, що не передбачають ефективної стабілізації та утилізації осадів. Причинами цього є відсутність економічних стимулів, недосконалість нормативно-правової бази, низька обізнаність населення, а також нестача науково обґрунтованих методик адаптації біотехнологічних процесів до умов малих населених пунктів. Розвиток наукових досліджень у цій сфері має забезпечити створення типових рішень і локальних технологічних схем, орієнтованих на ефективність, енергоощадність і мінімальні експлуатаційні витрати.

Осади стічних вод формуються під час механічного, біологічного та фізико-хімічного очищення води і зазвичай містять від 50 до 70 % органічної речовини, що робить їх придатними для біоконверсійних процесів. Основними компонентами осаду є білки, жири, вуглеводи, сполуки азоту, фосфору та мікроелементи, які мають цінність як поживні елементи для рослин або як субстрати для мікробіологічних процесів. Водночас присутність важких металів, патогенів і стійких органічних забруднювачів потребує проведення біологічної стабілізації, що забезпечується дією мікроорганізмів, здатних до біодеградації та нейтралізації шкідливих сполук. Завдяки цьому біотехнологічна переробка виступає одночасно процесом знешкодження, стабілізації й перетворення осаду в безпечний і корисний продукт.

Основними біотехнологічними підходами до переробки осадів стічних вод є анаеробне зброджування, аеробне компостування, вермікомпостування та мікробіологічні методи ферментації. Анаеробне зброджування відбувається без доступу кисню, коли органічна речовина розкладається мікроорганізмами з утворенням біогазу, до складу якого входять метан і діоксид вуглецю. Цей процес дозволяє суттєво зменшити обсяг осаду, стабілізувати органічні сполуки та отримати відновлювану

енергію, яку можна використовувати для енергозабезпечення очисних споруд або постачання електроенергії в локальні мережі. Аеробне компостування базується на біотермічному розкладанні органічної маси за участі мікроорганізмів, що потребують кисню. Унаслідок цього формується стабільний продукт – компост, який можна застосовувати як органічне добриво або субстрат для рекультивації деградованих земель. Процес супроводжується підвищенням температури до 55–65 °С, що забезпечує знезараження та руйнування патогенної мікрофлори. Вермікомпостування є більш біологічно активною стадією, яка передбачає участь дощових черв'яків у процесі біоконверсії. Цей метод покращує структуру й фізико-хімічні властивості компосту, підвищує його вміст гумусових речовин і сприяє формуванню високоякісного біодобрива. Додатковим напрямом є ферментаційні та мікробіологічні методи, у яких використовуються спеціально підібрані консорціуми мікроорганізмів для прискорення деградації складних органічних сполук, скорочення тривалості переробки та підвищення якості кінцевого продукту.

У результаті біотехнологічної обробки осади стічних вод перетворюються на низку цінних вторинних продуктів, що мають практичне значення у різних сферах. Найбільш поширеним є компост, який застосовують для відновлення родючості деградованих земель, покращення структури ґрунтів, рекультивації техногенних територій і озеленення міських зон. Біогаз, отриманий під час анаеробного зброджування, є перспективним відновлюваним джерелом енергії, яке може замінювати традиційні викопні палива. Органо-мінеральні добрива, вироблені з обробленого осаду, забезпечують циркуляцію поживних речовин у природному колообігу та зменшують потребу у використанні мінеральних добрив. Окрім того, стабілізований осад, за умови відповідності екологічним стандартам, може використовуватися як наповнювач у будівельних матеріалах або у складі рекультиваційних сумішей, сприяючи скороченню кількості відходів.

У європейських країнах набуває поширення практика поєднання кількох біотехнологічних процесів у межах єдиної системи переробки осадів. Наприклад, після анаеробного зброджування залишковий осад направляють на компостування або вермікомпостування, що дозволяє отримати одночасно біогаз і високоякісний органічний продукт. Такі комбіновані схеми довели свою ефективність у Німеччині, Данії, Швеції та Польщі, де вони забезпечують енергетичну автономність очисних споруд. Для України впровадження подібних технологій може стати важливим кроком до переходу на енергетично збалансовану, екологічно безпечну та економічно вигідну систему управління стічними водами.

Використання продуктів біотехнологічної переробки осадів стічних вод сприяє замиканню матеріальних потоків і формуванню циркулярної моделі управління водними ресурсами, у межах якої відходи стають джерелом нових ресурсів. Такий підхід забезпечує суттєві екологічні та економічні переваги: скорочуються обсяги осадів, що підлягають захороненню, зменшується навантаження на полігони, мінімізуються ризики забруднення довкілля, а також створюються умови для виробництва енергії з відновлюваних джерел. Одночасно знижується собівартість утилізації та підвищується ефективність функціонування очисних споруд. Таким чином, біотехнологічні процеси поєднують екологічну безпеку з економічною доцільністю, забезпечуючи сталий розвиток систем водовідведення та сприяючи гармонізації природоохоронних і господарських інтересів.

Біотехнологічні підходи до переробки осадів стічних вод відкривають широкі можливості для екологічно безпечного, ресурсоефективного та енергозберігаючого управління вторинними ресурсами. Анаеробне зброджування, компостування та мікробіологічна ферментація є найперспективнішими технологіями, здатними забезпечити стабілізацію органічної речовини, знезараження і повторне залучення ресурсів у виробничий цикл. Їхня реалізація відповідає принципам циркулярної економіки, сприяє мінімізації відходів, підвищенню енергоефективності та формуванню нової екологічної культури управління водними ресурсами.

MALOVANYI M., ZHUK V., MYSAK I., TYMCHUK I.,
BORDUN I., VRONSKA N. (UKRAINE, LVIV)

**LONG-TERM TRENDS IN PRECIPITATION DEPTHS
IN SELECTED CLIMATIC REGIONS OF UKRAINE**

*Lviv Polytechnic National University,
12 S. Bandera Str., Lviv, Ukraine; volodymyr.m.zhuk@lpnu.ua*

Abstract. This study examines long-term daily precipitation records (1945–2023) from selected climatic regions of Ukraine to identify trends relevant to climate change and flood risk. Annual precipitation depths show a systematic increase, while the number of wet days tends to decline. At the same time, mean daily precipitation depth continues to rise, indicating a growing concentration of rainfall. These findings highlight intensifying rainfall patterns with implications for flood risk management and climate resilience.

Global climate change poses a major threat to sustainable development, strongly affecting water resources, ecosystems, food security, and human well-being. Trends in average annual precipitation depths vary across regions, with both increases and decreases observed. At the same time, the frequency of high-intensity rainfall events and associated large-scale flooding continues to rise across Europe, directly impacting the reliability of urban stormwater drainage systems and highlighting the importance of monitoring precipitation trends for accurate runoff modelling. These long-term patterns were clearly reflected in 2025, when record-high precipitation depths occurred in Lviv and Odesa, leading to severe flooding and even loss of human lives.

Numerous studies across Europe have shown significant long-term changes in precipitation parameters, with regional variations observed in Poland, France, Spain, and the Carpathian Basin. In Ukraine, only fragmented analyses have been carried out, such as national trends for 2002–2011 and local studies for individual regions. To obtain a comprehensive picture, broader comparative research is needed to assess precipitation dynamics across different climatic regions of Ukraine.

The study aims to improve hydrological balance estimation and flood risk assessment by statistically analysing long-term trends of annual and daily precipitation depths across key climatic regions of Ukraine, represented by a comparative triangle of about 100,000 km² with vertices in Kyiv, Lviv, and Odesa.

Kyiv, Lviv, and Odesa are located in different climatic regions of Ukraine, with elevations ranging from 40 to 412 m. Kyiv has a warm-summer humid continental climate, Lviv a humid continental climate with cold winters, and Odesa a hot-summer humid continental climate near the Black Sea. Daily precipitation data for 1945–2023 from meteorological stations in these cities were statistically analysed. Annual precipitation depths and the number of wet days were processed using standard methods, and long-term trends were determined by linear regression.

The analysis of long-term daily precipitation series for Kyiv, Lviv, and Odesa over the period 1945–2023 has demonstrated consistent trends in the variation of key rainfall parameters, while also highlighting notable regional differences in their rates of change. The annual precipitation depth is systematically increasing in all three cities, with average rates of 1.70 mm·yr⁻¹ in Lviv, 1.16 mm·yr⁻¹ in Odesa, and 0.45 mm·yr⁻¹ in Kyiv. The Mann–Kendall test applied to annual precipitation depths for 1945–2023 statistically confirmed a linear trend ($p < 0.05$) for Lviv and Odesa, whereas in Kyiv the observed slight increase was not statistically significant ($p > 0.3$). At the same time, the annual number of wet days shows a gradual decline, decreasing most significantly in Kyiv at 0.395 yr⁻¹, followed by Lviv at 0.215 yr⁻¹, and only slightly in Odesa at 0.086 yr⁻¹. The mean daily precipitation depth exhibits a nearly uniform growth across the study sites, increasing at rates in the range 0.0146–0.0157 mm·day⁻¹·yr⁻¹, indicating a steady rise in rainfall intensity during individual precipitation events.

This approach provides a reliable basis for practical applications, including the estimation of hydrological balances, the assessment of maximum runoff in urbanized catchments, and broader flood risk analysis. The geographical arrangement of the three cities, forming an extensive triangular area that encompasses different climatic regions of Ukraine, further strengthens the representativeness of the findings. Overall, the results contribute to a deeper understanding of precipitation dynamics in the context of climate change and provide valuable input for sustainable water management and climate resilience strategies.

Acknowledgement. This study was supported by the European Commission, Project 101186869 – AGRI-BIOCIRCULAR-HUB "Excellence Hub for a Smart Agriculture and Circular Bioeconomy Towards a Sustainable Agrifood Sector in Widening Countries (and Beyond)".

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ЦЕОЛІТУ ДЛЯ
ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ВІД ІОНІВ Cu (II) ТА Cr (III)

Національний університет Львівська політехніка
79013, пл. Св. Юра, 3/4, Львів, Україна; vira.v.sabadash@lpnu.ua

Abstract. Heavy metals are hazardous pollutants due to their toxicity even at low concentrations and their resistance to biodegradation. Increasing levels of copper and chromium in natural water bodies pose a serious threat to ecosystems and human health. This study focuses on the purification of drinking water from Cu(II) and Cr(III) ions using natural clinoptilolite modified through acid and alkaline activation. The results showed that alkali-modified zeolite exhibited higher adsorption capacity for Cu(II), whereas phosphate-modified zeolite was more effective for Cr(III). Sorption isotherms demonstrated that modification nearly doubled the sorption capacity compared to natural zeolite, mainly due to the formation of wider pores during chemical treatment.

Важкі метали належать до особливо небезпечних забруднювачів довкілля, оскільки характеризуються високою токсичністю навіть за низьких концентрацій та не здатні до біодеградації. Зростання вмісту важких металів у природних водоймах створює серйозну загрозу для всіх живих організмів, включно з людиною. Серед основних методів зниження концентрацій важких металів у воді найпоширенішими є хімічне осадження, іонний обмін, адсорбція та зворотний осмос. Завдяки особливостям кристалічної структури природні цеоліти мають здатність поглинати лише катіони металів. Проте хімічна модифікація внутрішньої поверхні природного сорбенту значно розширює його сорбційні властивості, зокрема щодо аніонів та неполярних органічних сполук. Процес модифікації цеолітів передбачає реакції іонного обміну між катіонами на поверхні та обмінними катіонами у структурі цеоліту. Для цього можуть використовуватися, зокрема, аліфатичні четвертинні аміни, а також методи кислотної активації природного сорбенту. Попередні дослідження показали, що з двокомпонентних систем, які містять іони міді та хрому, ефективно вилучається переважно мідь, яка є менш токсичною порівняно з іонами хрому. В Україні гранично допустимі концентрації (ГДК) для міді становлять 1,0 мг/дм³, для тривалентного хрому — 0,5 мг/дм³, а для шестивалентного — 0,1 мг/дм³. Метою даної роботи було створення ефективного сорбенту для вилучення іонів важких металів та дослідження процесів одночасної адсорбції іонів Cu(II) та Cr(III) на поверхні та в об'ємі модифікованого цеоліту за статичних умов. Модифікація природного клиноптилоліту здійснювалася методом кислотної активації, який передбачає обробку зразків розчинами сірчаної, хлоридної, фосфорної та оцтової кислот протягом певного часу з нагріванням і перемішуванням. Така обробка прискорює природні процеси хімічного вивітрювання, які відбуваються під впливом атмосферного повітря, води з вуглекислим газом та тиску протягом тривалих геологічних періодів. Кислотна модифікація сорбенту здійснювалася обробкою 20% розчином фосфорної кислоти у співвідношенні тверда фаза : розчин = 1 : 2 з витриманням суспензії протягом 24 годин за нормальних умов. Для лужної модифікації застосовували 20% розчин натрій гідроксиду в аналогічних умовах. Адсорбційні властивості досліджували з використанням модельних водних розчинів, що містили іони міді та хрому у співвідношенні 1 : 1 з концентраціями 0,01; 0,2; 0,4; 0,6 та 1 г/дм³. До кожного зразка додавали певну кількість цеоліту, перемішували та витримували у термостаті при температурі 20 ± 0,5 °C протягом 48 годин. Після завершення процесу розчини фільтрували, а сорбент висушували до сталої маси. Вміст адсорбованих іонів визначали фотометричним методом. Було вивчено процес сумісної адсорбції іонів Cu(II) та Cr(III) на модифікованих сорбентах — клиноптилоліті, обробленому розчинами NaOH та H₃PO₄. Результати досліджень показали, що лужно модифікований цеоліт проявив вищу адсорбційну здатність щодо іонів Cu(II), тоді як фосфатна модифікація була ефективнішою для поглинання іонів Cr(III). Порівняння отриманих ізотерм сорбції з даними для природного цеоліту виявило майже двократне зростання сорбційної ємності після модифікації. Це пояснюється формуванням більш широких пор у структурі мінералу внаслідок часткового розчинення цеоліту, що узгоджується з даними інших дослідників. Під час кислотної активації відбувається утворення значної кількості мезо- та макропор, здатних поглинати великі молекули та багатозарядні катіони. Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність використання кислотно модифікованого клиноптилоліту як доступного та результативного сорбенту для вилучення іонів Cu(II) та Cr(III) із водних розчинів та стічних вод.

САВКА В.В., ТУРЧИН Б.В., ОДНОРІГ З.С. (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)

МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ УЗБЕРЕЖЖЯ ВІД ВОДОРОСТЕЙ SARGASSUM

*Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна*

Abstract. Pelagic Sargassum is abundant in the Sargasso Sea, but a recurrent great Atlantic Sargassum belt (GASB) has been observed in satellite imagery since 2011, often extending from West Africa to the Gulf of Mexico. In June 2022, the 8850-kilometer GASB contained 24,2 million metric tons of Sargassum biomass. The spatial distribution of the GASB is mostly driven by ocean circulation. The bloom of 2011 might be a result of Amazon River discharge in previous years, but recent increases and interannual variability after 2011 appear to be driven by upwelling off West Africa during boreal winter and by Amazon River discharge during spring and summer, indicating a possible regime shift and raising the possibility that recurrent blooms in the tropical Atlantic and Caribbean Sea may become the new norm.

Протягом останніх кількох років узбережжя багатьох країн, особливо тих, що знаходяться в тропічних і субтропічних регіонах, сильно забруднені масовими скупченнями бурих водоростей роду Sargassum. Їх надмірна присутність спричиняє різноманітні екологічні, соціально-економічні та санітарні проблеми. Швидке поширення водоростей роду Sargassum пов'язане зі зміною клімату, евтрофікацією прибережних вод та змінами течій, що призводить до утворення великих плавучих мас, що виносяться до узбережжя. Накопичення морських водоростей на пляжах та в прибережних районах викликає неприємний запах, знижує якість рекреаційних ресурсів, шкодить туристичній галузі та місцевій економіці. Крім того, процеси розпаду водоростей роду Sargassum зменшують кількість кисню у воді, що негативно впливає на морські екосистеми. Традиційні методи очищення часто є неефективними або екологічно шкідливими, оскільки вони можуть руйнувати піщані дюни, негативно впливати на середовище існування морських організмів або супроводжуватися значним споживанням ресурсів. Тому існує потреба в системному аналізі та вдосконаленні методів очищення узбережжя від водоростей роду Sargassum з урахуванням екологічних, технологічних та економічних аспектів. Вирішення цієї проблеми є важливим для забезпечення сталого управління прибережними територіями та збереження біорізноманіття. У міру розпаду водоростей Sargassum виділяються токсичні гази та фільтрати, що створює значні ризики для здоров'я людей та інших видів. З екологічної точки зору, випадання саргассумів сприяє ерозії пляжів, евтрофікації прибережних вод та переходу від піщаних до мулистих осадів, а також виснаженню кисню, що призводить до втрати флори та фауни морських трав'яних луків. Метою роботи є здійснення огляду сучасних методів очищення узбережжя від водоростей Sargassum з урахуванням їхньої ефективності, екологічних наслідків та практичних аспектів застосування.

Найпоширенішими підходами до управління Sargassum є механічні методи очищення пляжів. Дослідження Abdool-Ghany et al.(2023) виявили чотири основні стратегії: компостування, глибоке закопування, інтеграція в пісок (метод «cut and turn») та вивезення на полігони. Варгула та ін.(2021) у своєму огляді методи і машини для видалення водоростей з пляжів підкреслюють, що більшість доступних методів очищення адаптовані для пляжів або молоководдя, проте існує дефіцит рішень для очищення прибережної смуги, особливо на ділянках, де вода викидається падаючими хвилями. Компостування Sargassum демонструє високу економічну ефективність завдяки вивезенню на полігони. За даними Abdool-Ghany et al.(2023), агентство, що впровадило компостування, заощадило близько \$328 000 щорічно. Компост із Саргассума містить азот (0,75-1,26% від ваги), фосфор (0,043-0,15%) та калій (0,06-0,39%), що робить його цінною альтернативою комерційним добривом. Проте Walsh & Waliczek (2020) та Sembera et al.(2018) відзначають необхідність змішування Sargassum з іншими органічними матеріалами для оптимізації якості компосту. Arellano-Verdejo & Lazcano-Hernandez (2024) розробили методологію картування розподілу Sargassum на пляжах за допомогою аерофотозйомки та глибокого навчання, що дозволяє прогнозувати надходження водоростей та планувати заходи з очищення. Використання бар'єрів та бонів для запобігання викиданню водоростей на берег також розглядається як перспективний підхід. Інтегрований підхід до управління утилізацією водоростей роду Sargassum, що призводить до механічного збирання, компостування та моніторингу за допомогою дистанційного зондування, є найбільш ефективною стратегією. Подальші дослідження повинні зосередитися на оптимізації процесів компостування, розробці економічно доступних технологій збору та створенні регіональної системи координації між прибережними агентствами для швидкого реагування на масу.

ВНУКОВА Н., КАМЕНЄВ А. (УКРАЇНА, ХАРКІВ)

**ВОДОПОСТАЧАННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ
(НА ПРИКЛАДІ м. ХАРКІВ)**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна
vnukovanv@ukr.net; aakamenev0001@gmail.com*

Abstract. The paper analyzes the environmental condition of Kharkiv under wartime conditions, which have led to a significant increase in technogenic pressure on the environment. The study focuses on issues related to infrastructure destruction, air and water pollution, and waste accumulation. Key risks to the water supply system are identified, including network damage, energy shortages, and the threat of drinking water contamination. Possible stabilization measures are discussed, such as network restoration, the use of alternative water sources, and international assistance. The main strategies for adaptation and ecological reconstruction of Kharkiv and the region based on the principles of sustainable development are proposed.

Харків – велике сучасне місто, один з найбільш розвинутих промислових центрів України. Місто займає площу 306,0 км², чисельність населення становить 1,48 млн осіб, а райони Харкова відповідають за кількістю жителів невеликим містам (від 100 до 300 тис осіб). Екологічний стан міста до початку бойових дій 24 лютого 2022 року характеризувався як стабільно напружений, відмічалось наростання негативних процесів деградації навколишнього природного середовища. За масштабами забруднення навколишнього природного середовища Харків посідав 15-17 місце в Україні. Але з початком бойових дій ситуація значно змінилася. Харків та Харківський регіон на сьогодні один з самих техногенно навантажених регіонів внаслідок синергетичних ефектів як прямого впливу бойових дій так і негативних наслідків великого пошкодження цивільної інфраструктури та природних екосистем.

Найвагоміші чинники антропогенного навантаження на довкілля:

- значне зростання кількості автомобільного транспорту з низькими екологічними параметрами та поганий стан шляхопроводів через перенавантаження спецтехнікою і будівництво нових доріг спричиняють руйнування ландшафтів і забруднення повітря; автомобільний транспорт є основним чинником погіршення стану атмосферного повітря міста та регіону;
- руйнування систем енергопостачання призводить до несанкціонованих відключень критичних об'єктів, накопичення мулового осаду на очисних спорудах і забруднення повітря та підземних вод;
- понад 80 % забруднень водних об'єктів надходить із неочищеного поверхневого стоку, що посилює замулювання русел, забруднення вод і порушення гідрологічного режиму річок;
- відсутність підприємств із переробки побутових і промислових відходів спричинила накопичення значної кількості, у тому числі небезпечних, відходів;
- постійне навантаження під час обстрілів і бомбардувань спричиняє самозаймання сухостою та деревини, забруднення довкілля парниковими газами та погіршення стану водойм;
- бомбардування великих ракет комбінованої дії погіршує функціонування природних і штучних екосистем через шум, вібрації, руйнування та утворення технічних відходів, включно з залишками зброї;
- руйнування будівельних конструкцій потребує утилізації великих обсягів змішаних і небезпечних відходів;
- погіршується стан зелених і лісових зон міста, а масштабні відновлювальні будівельні роботи додатково збільшують навантаження на екосистеми та змінюють функціонування всієї інфраструктури.

Кризова ситуація, яка виникла під час постійного техногенного белігеративного навантаження на критичну інфраструктуру міста, включно з системою водопостачання посилюється за рахунок дефіциту попиту та пропозицій, старіння інфраструктури, ризиків забруднення та залежності від великих централізованих систем. Основні проблеми пошкодження мереж: з початку повномасштабного вторгнення росіяни завдали понад 150 ударів по водопровідних мережах міста. Це призводить до численних аварій та перебоїв у постачанні води. Особливості водопостачання в місті включають розрахунки потенційної можливості колапсу а також враховувати складність швидкого реагування через великі масштаби та вразливість великих мереж до порушень.

Виклики, пов'язані з можливими сценаріями кризового стану:

1) розмір і складність водопровідних систем мегаполісів ускладнюють і уповільнюють аварійні ремонтні роботи, а дістатися до віддалених або неформальних поселень може бути надзвичайно складно;

2) складність управління: численні зацікавлені сторони, включаючи різні рівні влади та приватних операторів, можуть ускладнювати координацію дій під час надзвичайної ситуації;

3) прямі фізичні пошкодження, такі як руйнування інфраструктури: авіаудари, обстріли і навіть рух важких транспортних засобів можуть зруйнувати або пошкодити водоочисні станції, водосховища та трубопроводи;

4) саботаж: навмисне пошкодження водної інфраструктури може використовуватися як тактика;

5) перешкоди у проведенні ремонтних робіт: конфліктна ситуація ускладнює та робить небезпечним доступ ремонтних бригад до пошкодженої інфраструктури та її ремонт.

Непрямі та системні ризики:

1) забруднення води: руйнування систем водовідведення може призвести до перехресного забруднення питної води стічними водами, що збільшує ризик захворювань, таких як холера та тиф;

2) забруднення навколишнього середовища: військові дії можуть призвести до потрапляння небезпечних хімічних речовин у джерела води, забруднюючи їх на тривалий час;

3) перебої в роботі: навіть без прямих атак пошкоджена інфраструктура, відсутність електроенергії для очисних споруд або перешкоди в доступі до води можуть призвести до повного виходу з ладу системи водопостачання.

Стратегії пом'якшення наслідків та адаптації:

1) диверсифікація: спрямовані дії забезпечення переходу від єдиної великої системи до більш диверсифікованої, що включає децентралізовані джерела, такі як збір дощової води, опріснення та очищення на місці і може підвищити стійкість;

2) інвестиції в інфраструктуру: збільшення інвестицій в технічне обслуговування, аналіз даних для виявлення витоків та використання міцних матеріалів може зменшити втрати води та підвищити ефективність;

3) повторне використання води: впровадження систем переробки та повторного використання стічних вод може створити додаткове джерело води.

4) управління попитом: впровадження таких політик, як тарифи, що відображають реальну вартість води, може сприяти її збереженню та зменшенню загального попиту.

Під час бойових дій в Харкові система водопостачання стикається з такими основними проблемами: пошкодження мереж внаслідок обстрілів, що призводить до відключень води, труднощі з ремонтними роботами через небезпеку, а також зниження якості води через пошкодження обладнання та мереж. Втім, «Харківводоканал» працює над відновленням пошкодженого, прокладає нові мережі, бурить артезіанські свердловини як додаткове джерело та отримує допомогу для контролю якості води. Пошкодження мереж та обладнання можуть впливати на якість питної води, тому «Харківводоканал» отримує допомогу від міжнародних партнерів для контролю її якості та очищення.

Дії для стабілізації ситуації:

1) «Харківводоканал» відновлює пошкоджені зовнішні мережі водопостачання та прокладає нові;

2) альтернативні джерела: буріння нових артезіанських свердловин як альтернативних джерел водопостачання;

3) міжнародна допомога: завдяки допомозі ЮНІСЕФ, Кореї, ЄС та USAID, підприємство отримує реагенти для очищення води та спеціалізоване обладнання для контролю її якості.

Перелік першочергових дій для аналізу, оцінки та усунення шкідливих наслідків під час розбудови та реконструкції як України, в цілому, так і Харкова і Харківської області, це:

- аналіз та узагальнена оцінка екологічних проблем Харкова та Харківської області, які виникають під час військової агресії та ведення бойових дій;

- створення, долучення до роботи потужних колективів науковців та практиків за напрямками роботи;

- науковий пошук та вибір найкращих світових практик для впровадження під час розбудови м, Харків та Харківського регіону;

- інвестування проектів науково-практичного, освітнього та соціального напрямів для створення сталої платформи реконструкції Харкова та Харківського регіону.

Наукове online-видання

ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ:
ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МОНІТОРИНГ.
Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring.

VI міжнародна наукова-технічна конференція, 15-17 жовтня 2025, Україна, Львів
VI International Scientific-Technical Conference, 15-17 October 2025, Ukraine, Lviv

Збірник матеріалів
Proceedings

Технічний редактор Online-видання
Художній редактор Online-видання
Укладачка тексту

Ліє Гудзик
Яніна Яроченко
Н. Вронська

Цитування:

Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг. VI міжнародна наукова-технічна конференція, 15-17 жовтня 2025, Україна, Львів : зб. матер. — Електрон. дан. — Київ : Яроченко Я. В., 2025. — 146 с. : рис., табл., фот. — on-line. = *Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring. VI International Scientific-Technical Conference, 15-17 October 2025, Ukraine, Lviv : Proceedings — Eelectron. Data — Kyiv : Ya.Yarochenko, 2025. — 146 p. : illustrations, tables, photographs — on-line.* — Режим доступу: <https://liegudzyk.com/vodopostachannya-i-vodovidvedennya-VI-mizhnarodna-naukova-tekhnichna-konferentsiya-2025>



Видавець: Яроченко Яніна Володимирівна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 6692 від 21.03.2019
lie.gudzyk@gmail.com / Telegram: [@OnlinePublishing](https://t.me/OnlinePublishing)
<https://liegudzyk.com/online-publishing>

