

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Білостоцький технічний університет
Муніципалітет м. Фільдерштадт, Німеччина
Німецьке товариство міжнародного співробітництва (GIZ) GmbH
Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку
України» Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
Національний університет «Львівська політехніка»
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний університет імені І. Сікорського»
Вінницький національний технічний університет
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Сумський державний університет
Сумський національний аграрний університет
Запорізький національний університет
ТОВ «НЬЮФОЛК НКЦ»
ПрАТ «Природні ресурси»
СП «Полтавська газонафтова компанія»
Компанія HERZ-Україна (Австрія)
Компанія Hisense-Україна (КНР)
ПрАТ «ВЕНТС» м. Боярка, Україна
ПП «Енергоконсалтингова компанія «АЙТІКОН» м. Полтава
Компанія «Де БЮТ» (Полтава)
ПП «Конвент-Сервіс», м. Полтава

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

VI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження»



Полтава, НУПІ, 17 грудня 2025 року

УДК 502/504+620.9](2.064)
Е40

Затверджено до друку рішенням Вченої ради ННІ нафти і газу та енергетики
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(протокол № 7 від 13.03.2026 р.)

«Екологія. Довкілля. Енергозбереження». 2025» : Збірник матеріалів VI Міжнародної
науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (17 грудня
2025 року, Полтава). Полтава : НУПП, 2026. 181 с.

Відповідальна за випуск: завідувачка кафедри прикладної екології та хімії, к.т.н.,
доцент Оксана ІЛЛЯШ

Рецензенти:

ЧУГАЙ Ангеліна, завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського
національного університету імені І.І. Мечникова, доктор технічних наук, професор.
ХАРЛАМОВА Олена, професор кафедри екології та біотехнологій Кременчуцького
національного університету імені Михайла Остроградського, доктор технічних наук,
професор.

Учасники конференції – міжнародні експерти, почесні гості, науковці, шкільна й студентська
молодь та освітяни – розглядають проблеми раціонального використання природних ресурсів,
захисту довкілля та енергозбереження, подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля
в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних дій.

Матеріали подано мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність
матеріалів відповідають автори.

Оргкомітет конференції.

ISBN 978-617-8797-18-8
2026-11

© Національний університет
«Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», 2026 р.

УПРАВЛІННЯ ГЛОБАЛЬНОЮ ТА РЕГІОНАЛЬНОЮ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ Й ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

UDC 502.3:351.858:338.1

Buriak A., PhD in Economics, Associate Professor

*National University «Yuriy Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Poltava, Ukraine*

INTEGRATION MECHANISMS FOR STRENGTHENING UKRAINE'S ENVIRONMENTAL SECURITY UNDER WARTIME

Contemporary processes of military escalation, accelerated digitalization, and global climate shifts have intensified the need to establish a comprehensive environmental security system capable of counteracting multidimensional ecological threats and ensuring sustainable development. Ukraine is currently experiencing unprecedented environmental pressure resulting from large-scale ecological crimes, deliberate destruction of infrastructure, increasing contamination of territories, and disruption of hydrological and geochemical balances. These factors generate long-term systemic risks and necessitate a rethinking of the national model of environmental governance.

The wartime context introduces a range of new challenges that significantly reshape regional and national environmental priorities. As demonstrated in the works [1-2], international businesses and institutions are increasingly integrating environmental and social standards into their activities, creating new opportunities to attract eco-oriented investments to Ukraine. At the same time, the destruction of industrial facilities, the explosion of the Kakhovka Hydropower Plant, intensive hostilities, and the contamination of soil and water with toxic substances generate substantial recovery costs that require financial support from international institutions.

Recent studies [5] emphasize that wartime environmental pressure not only increases risks to the population but also decreases the investment attractiveness of regions where environmental consequences of war have reached a critical level. Strengthening institutional resilience and integrating mechanisms of international environmental policy are therefore essential. In this regard, the recommendations [3] highlight the importance of implementing European ecological directives and reforms, particularly in waste management, industrial emissions regulation, air and water quality monitoring, and the development of renewable energy.

To identify strategic directions for strengthening environmental security, a baseline assessment of the dynamics of core environmental indicators and

corresponding investment needs was conducted (table). The assessment covers contaminated land areas, industrial emissions, the development of environmental monitoring systems, waste treatment capacity, and the expansion of renewable energy infrastructure.

Table – Assessment of environmental indicators and investment needs

Indicator	Baseline (2024)	Target (2028)	Absolute change	Relative change (%)	Estimated cost (mln. USD)	Cost per unit (USD)	Primary funding source	Notes
Contaminated area (ha)	15000	9000	-6000	-40,00	450,0	75000,0	EIB / EBRD grants & loans	Reclamation, soil remediation, UXO clearance
CO ₂ emissions from industrial sources (kt/year)	4200	3600	-600	-14,29	120,0	200000,0	National + IFI loans	Industrial decarbonization measures
Operational monitoring stations (units)	85	180	95	111,76	25,0	138888,89	State budget + donors	Sensors, telemetry, data platforms
Waste treated (tons/year)	320000	520000	200000	62,50	75,0	144,23	Public-private partnerships	Waste sorting, treatment, hazardous waste cleanup
Renewable energy capacity (MW)	480	1200	720	150,00	300,0	416666,67	Green bonds + IFI	Solar, wind, biomass scale-up
Investment needed (mln USD)	-	-	-	-	970,0	-	SUM of above	Aggregated estimated funding need

Source: compiled by the author based on [1-6]

The calculations demonstrate that achieving even a baseline level of environmental recovery and modernization requires nearly 1 billion USD in investments over the next four years. This aligns with the growing dynamics of investment and credit activity by international institutions. The most resource-intensive areas include [4]:

- energy modernization (USD 416,000 per 1 MW of new capacity),
- CO₂ emission reduction (USD 200,000 per 1 kt of reduced emissions),
- environmental monitoring (~USD 139,000 per new monitoring station).

Significant progress is possible in the remediation of contaminated land (a 40% reduction), which is critically important for restoring territories affected by military aggression.

Modernizing waste management systems could increase treated waste volumes by 62,5% [6], consistent with the requirements of EU Directive 2008/98/EC and contributing to the expansion of Ukraine’s circular economy.

Ukraine is undergoing profound environmental transformations driven by war, global climate change, and the urgent need to integrate into the EU environmental governance system.

The calculated indicators highlight the high economic cost of wartime ecological damage and the need for systematic attraction of investment and credit resources from international financial organizations. The key vectors for strengthening environmental security should include: accelerated decarbonization, expansion of renewable energy, digitalization of monitoring, scaling of land remediation programs, and implementation of circular technologies. EU-integration reforms in the environmental sector, as emphasized in recent studies, represent a system-forming factor that determines Ukraine's adaptive capacity in the face of global climate challenges and regional ecological risks. The obtained calculations may serve as a basis for developing targeted state programs, regional recovery strategies, and international investment projects.

Used information sources:

1. Levchenko I., Buriak A., Maksyuta N., Cherkaska D. Challenges and prospects of implementation environmental and social initiatives in international business. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2024. № 2. Том 1. С. 57– 64. DOI: [https://doi.org/10.60022/2\(2\)-8SD](https://doi.org/10.60022/2(2)-8SD)

2. Буряк А. А., Левченко І. В. Роль інвестиційно-кредитних ресурсів міжнародних інститутів у подоланні загроз екологічної безпеки України. *Науково-виробничий журнал «Бізнес-навігатор»*. 2025. Випуск 5 (82). С. 457–461. DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.82-71>

3. Левченко І. В., Буряк А. А., Максюта Н. С. Екологічна безпека країни: імплементація європейських реформ в Україні. *Причорноморські економічні студії*. 2025. Випуск 94. С. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.32782/bses.94-18>

4. Buriak A.A. Environmental preservation in wartime: challenges and opportunities for attracting foreign investments into Ukraine. Екологічна безпека в умовах війни: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 21 листопада 2024 р. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 113 – 115.

5. Onyshchenko S. V., Masliy O. A., Buriak A. A. Threats and risks of ecological and economic security of Ukraine in the conditions of war. XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment», 7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine. Mon23-072. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/13700/1/2023_11_Mon23-072.pdf

6. Buriak A. A., Turchenko A. A. Risks and threats to the environmental security of society. *Youth science: innovations and global challenges*: materials of the International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists, November 06, 2024. Poltava: NUPP, 2024. P. 298–299.

КАРТОГРАФУВАННЯ ЯК ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЛІХЕНОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПОЛТАВИ

*Арканова А. А., учитель I категорії з фізичної культури
В'язовська К. М., здобувач середньої освіти, членкиня МАН*

*Лицей №26 «Шевченківський» Полтавської міської ради,
м. Полтава, Україна*

У сучасному світі техногенний вплив людини істотно змінює природне середовище, зумовлюючи виникнення численних екологічних загроз. Однією з найсерйозніших проблем є забруднення атмосферного повітря, особливо в містах, де головними його джерелами виступають промислові підприємства та транспортні засоби. Ефективне вирішення цієї проблеми потребує детальної інформації про стан повітря. Серед різних методів екологічної оцінки особливий інтерес викликає біоіндикація. У цьому дослідженні застосовано метод ліхеноіндикації, що дозволив визначити якість атмосферного повітря в окремих районах Полтави на основі аналізу епіфітних лишайників.

Для визначення ліхенологічної ситуації в місті Полтаві обрано п'ять ключових майданчиків екологічного моніторингу рекреаційних територій міста, а саме: в Полтавському міському парку (Дендропарку) (КМЕМ №2), Корпусному парку (КМЕМ №1), парку Перемоги (КМЕМ №5), парку імені І. П. Котляревського (КМЕМ №4), та парку воїнів-інтернаціоналістів (КМЕМ №3). Як наведено у таблицях 1-5 на кожній території ми досліджували по три види дерев, а саме: *Quercus robur* L., *Populus pyramidalis* L. та *Acer platanoides* L. На кожному з досліджуваних дерев переважно зустрічалися три-чотири види епіфітних лишайників, а саме: *Parmelia olivacea*, *Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina* та *Evernia prunastri* [1].

Проаналізувавши отримані дані дослідження визначено, що найбільш забрудненим є Корпусний парк, та парк імені І. П. Котляревського через значне нагромадження автомобільного транспорту. Територія парку воїнів-інтернаціоналістів має середнє забруднення, через розташування парку в спальному районі, проте поблизу перехрестя з інтенсивним рухом транспорту. Парк Перемоги має теж відносно забруднення, наближене до більш чистого, проте нагромадження транспорту поблизу парку згубно впливає на стан атмосферного повітря цієї ділянки. Полтавський міський парк має найменше забруднення, проте на дорозі, що з'єднує місто Полтаву та село

Яківці, яка проходить через Дендропарк, збільшується інтенсивність руху, що негативно впливає на стан атмосферного повітря парку.

Тому важливим та необхідним стало дослідження питання автомобільного транспорту як головного чинника забруднення атмосферного повітря міста.

Для визначення інтенсивності руху використовувалася загальноприйнята методика, що передбачає підрахунок транспортних засобів різних типів тричі на день по 20 хвилин для кожного періоду вимірювання (о 8-й, 13-й та 18-й години) [2].

Згідно з цією методикою, завантаженість вулиць автотранспортом класифікують за такими показниками інтенсивності руху:

- низька інтенсивність: 2,7-3,6 тисяч автомобілів на добу;
- середня інтенсивність: 6-17 тисяч автомобілів на добу;
- висока інтенсивність: 18-27 тисяч автомобілів на добу [3].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика інтенсивності руху ключових майданчиків

КМЕМ Види транспорту	КМЕМ № 1	КМЕМ № 2	КМЕМ № 3	КМЕМ № 4	КМЕМ № 5
Легкові автомобілі	7059 (87,11%)	755 (66,40%)	5565 (82,06 %)	7238 (86,97%)	2565 (81,02%)
Автобуси	447 (5,52%)	13 (1,14 %)	388 (5,72%)	467 (5,61%)	14 (0,44%)
Вантажні автомобілі	132 (1,63 %)	13 (1,14 %)	180 (2,54%)	141 (1,69 %)	8 (0,25%)
Мікро-автобуси	466 (5,75%)	358 (31,49 %)	649 (9,57 %)	476 (5,72%)	579 (118,22%)
Всього	8104	1137	6782	8322	3166
	27511				
	29,46%	4,13%	24,65%	30,25%	11,51%

Як свідчать результати дослідження, на ключовому майданчику енергетичного моніторингу (КМЕМ) №1 зафіксовано близько 8104 автомобілів. На КМЕМ №2 – 1137 автомобілів, на КМЕМ №3 – 6782 автомобілів, на КМЕМ №4 – 8322, а на КМЕМ №5 – 3166 автомобілів. Загалом на п'яти основних майданчиках під час досліджуваного періоду зафіксовано приблизно 27511 автомобілів.

Найвищу інтенсивність руху було зареєстровано на КМЕМ №4 (30,25%) та №1 (29,46%), що розташовані у центральній частині міста. Ділянки, що знаходять у спальному районі та віддаленому від великих перехресть мають середню інтенсивність: КМЕМ №3 (24,65%) та №5

(11,51%). Найнижчу інтенсивність зафіксовано на КМЕМ №2 (4,13%), розташованому на околиці міста.

Загалом рівень інтенсивності руху в місті можна оцінити як високий.

Після ліхенологічної оцінки міста та визначення інтенсивності руху проведено картографування з визначенням ліхенологічних зон (рис.1).

Оцінювання здійснювали шляхом обліку видового різноманіття та проективного покриття епіфітних лишайників на стовбурах дерев. На основі отриманих показників територія міста була поділена на три зони чистоти повітря: червону (зону сильного забруднення), жовту (перехідну відносного чи середнього забруднення), зелену (зону чистого або відносно чистого повітря).

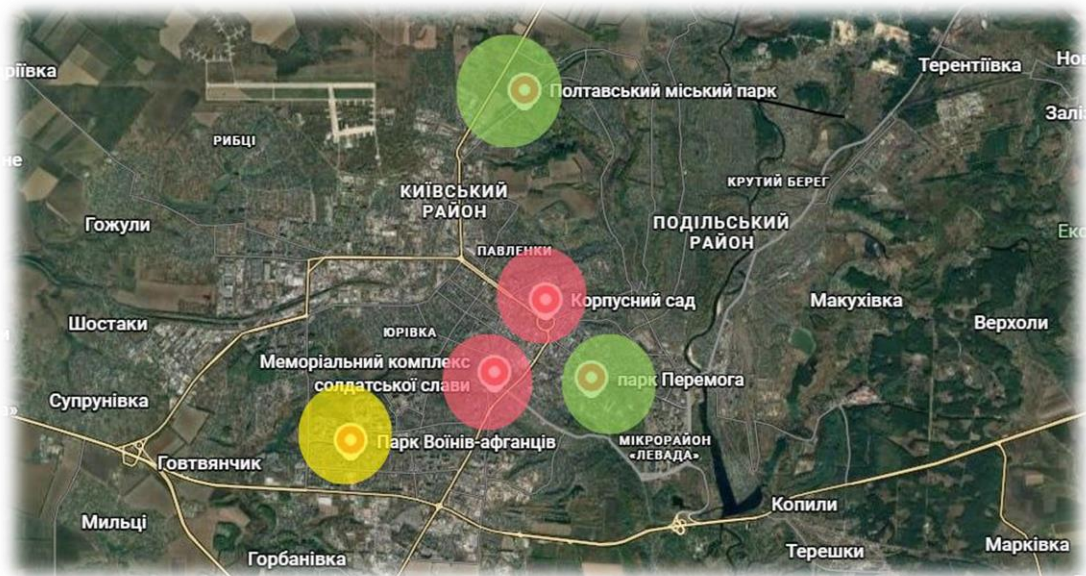


Рисунок 1 – Карта ключових майданчиків екологічного моніторингу з визначенням ліхенологічних зон

Червоні зони (КМЕМ № 1 та 4: територія Корпусного парку та парку мені І.П. Котляревського): низьке видове різноманіття лишайників; домінування толерантних до забруднення видів або повна відсутність чутливих форм; великий вплив інтенсивних джерел забруднення поблизу (зокрема автотранспорт);

Хоча ці ділянки є парковими зонами, їхній стан може бути знижений через високе рекреаційне навантаження та велику кількість автотранспорту навколо.

Жовта зона (КМЕМ № 3: територія парку воїнів-інтернаціоналістів). Одна ділянка визначена як жовта зона. Для неї характерні: помірне видове різноманіття лишайників; наявність як стійких, так і чутливих видів; середні значення ліхеноіндикаційного балу. Це свідчить про середній або відносний рівень забруднення повітря.

Зелені зони (КМЕМ № 2 та №5: територія парку Перемоги та Полтавського міського парку (Дендропарку). Дві ділянки віднесені до

зеленої зони, що відповідає умовно чистому або мало забрудненому повітрю. Тут відмічено: високе видове різноманіття епіфітних лишайників; наявність чутливих та вибагливих (наприклад, *Evernia prunastri*) видів; незначна наявність поблизу інтенсивних джерел викидів.

Таким чином, після проведених ліхенологічних досліджень отримано результати, що дали змогу розробити картографічні зони чистоти повітря для візуального розуміння. Отже, у місті Полтаві виділено зелені, жовті та червоні зони забруднення повітря, що вказує на важливість вирішення ситуації забруднення атмосферного повітря Полтави.

Використані інформаційні джерела

1. Арканова А. А., В'язовська К. М. Ліхеноіндикаційна оцінка якості атмосферного вітря міста в контексті екологічного моніторингу : *Екологія. Довкілля. Енергозбереження* : м-ли V Міжн. наук.-практ. конф., м. Полтава 9 грудня 2025 року, НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024. С. 66–70.

2. Арканова А. А. Урегулювання проблеми забруднення атмосферного повітря м. Полтава викидами автомобільного транспорту. *Екологічна безпека держави*: м-ли Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. Київ, 2014. С. 123–124.

3. Оцінювання забруднення атмосферного повітря внаслідок завантаженості вулиць автотранспортом [електронний ресурс] // режим доступу: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2016/26_8/36.pdf

¹*Бредун В. І., кандидат технічних наук, доцент,*
²*Бредун А. В., здобувач середньої освіти*

¹*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»*
²*Кременчуцький ліцей №10 «Лінгвіст»*

КРИТЕРІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Сучасний стан системи поводження з відходами в Україні вимагає комплексного реформування, що базується на зміні підходів від простого захоронення до запобігання утворенню та рециклінгу. Регіональні стратегії розвитку ставлять амбітну мету досягнення цільового показника зменшення утворення відходів до 70% до 2030 року відносно базового рівня [1].

Особливої актуальності набуває питання оптимізації управління відходами в сільській місцевості, яка кардинально відрізняється від міст низькою щільністю населення та великими відстанями між населеними пунктами, низькою якістю дорожнього покриття. В умовах обмежених ресурсів громад впровадження цифрових технологій розглядається як інструмент суттєвого підвищення ефективності логістичної складової муніципальних систем управління відходами.

Аналіз світового досвіду здійснений в попередніх роботах [2, 3] дозволяє виділити чотири основні категорії цифрових рішень, що можуть бути інтегровані в системи управління відходами сільських та селищних громад України і, зокрема, Полтавської області:

1. Локальні рішення на базі IoT: системи, що відстежують рівень заповнення контейнерів за допомогою датчиків.

2. Системи візуального моніторингу: рішення на базі штучного інтелекту (наприклад, платформа «AI City Vision»), які використовують 360-градусні камери для оцінки захаращення майданчиків та стану контейнерів.

3. Інтегровані платформи: комплексні системи (на кшталт італійської SISTRI), що об'єднують всіх учасників ринку в єдину мережу та забезпечують наскрізний контроль від збирання до утилізації.

4. Програмні продукти для населення: мобільні додатки для залучення громадськості до виявлення несанкціонованих звалищ.

Для сільських територій найбільш перспективним є використання технологій RFID для точного обліку та протоколу LoRaWAN для передачі даних. LoRaWAN функціонує на відстані до 5-10 км, працює в

неліцензованому діапазоні та є енергоефективним рішенням для віддалених районів, на відміну від витратного розгортання Wi-Fi мереж.

Впровадження цифрових інструментів не завжди є економічно виправданим для малих громад. Для визначення пріоритетності модернізації нами запропоновано використовувати індекс цифрової доцільності (ІЦД), який інтегрує організаційні, технологічні та логістичні аспекти.

Актуальність розробки спеціалізованих критеріїв доцільності та можливості впровадження цифрових інструментів в муніципальні системи управління відходами сільських та селищних громад, зумовлена необхідністю подолання диспропорції між наявними технологічними рішеннями та специфічними умовами їх імплементації в сільських регіонах України.

Невідповідність урбанізованих моделей специфіці сільських територій. Існуючі цифрові рішення (IoT-датчики, smart-системи) часто орієнтовані на щільну міську забудову. Сільська місцевість кардинально відрізняється низькою щільністю населення, значними відстанями між населеними пунктами та слабкою інфраструктурою. Пряма імплементація міських моделей без попередньої оцінки може призвести до низької ефективності, тому розробка адаптованих критеріїв, таких як щільність контейнерного парку (ЩКП), є критично необхідною для визначення обґрунтованості інвестицій.

Критична необхідність оптимізації логістичних витрат. У структурі собівартості послуг із управління відходами витрати на збір та транспортування за даними аналізу матеріалів громад Полтавської області можуть становити до 60-80%. В умовах сільських громад часто спостерігається явище високої логістичної неефективності, де для збору однієї тони відходів (особливо якщо це вторсировина низької щільності) сміттевоз може долати відстань 50-60 км (як у випадку Диканьської громади). Розробка коефіцієнта логістичної неефективності (КЛН) дозволяє чітко ідентифікувати громади, де цифровізація забезпечить окупність протягом 4-18 місяців, та уникнути витрат там, де економічний ефект буде незначним (менше 5-8%).

Забезпечення ефективності кластерних моделей управління на основі міжмуніципального співробітництва. Регіональна стратегія управління відходами передбачає перехід до кластерної моделі, що включає спільне використання інфраструктури та техніки кількома громадами. В умовах міжмуніципального співробітництва відсутність єдиних цифрових інструментів унеможливорює прозорий облік та розподіл витрат. Введення організаційних критеріїв, таких як коефіцієнт міжмуніципального співробітництва (КМС), дозволяє визначити етап, на якому впровадження єдиної цифрової управлінської платформи стає

обов'язковою умовою функціонування технологічно-логістичного кластера.

Об'єктивізація прийняття управлінських рішень. Обмежена платоспроможність громад вимагає чіткого ранжування пріоритетів фінансування. Запропонований інтегральний індекс цифрової доцільності (ЩД) дозволяє математично обґрунтувати необхідність проведення технологічної модернізації систем управління відходами. Це перетворює процес прийняття рішень з інтуїтивного на доказовий, дозволяючи виділяти критичні зони, де цифровізація є безальтернативним варіантом існування системи.

Практична апробація запропонованих підходів розглядалася нами на прикладі громад Полтавської області.

Так, для Котелевської громади показник КЛН по окремим маршрутам становить від 5 км/т для змішаних фракцій та скла до 50 км/т для пластика та паперу, що є критично високим показником.

Цікавим є приклад селища Лохвиця, де громада пішла по шляху встановлення контейнерів по всім приватним оселям, враховуючи, що переважну частину житлового фонду становить саме приватний сектор. Високий показник щільності контейнерного парку обґрунтовує умови високої доцільності цифровізації з впровадженням системи оплати за фактом утворення відходів (РАУТ) [4, 5]. Відсутність єдиної цифрової платформи в таких умовах ускладнює співпрацю та взаєморозрахунки.

Оптимізація логістики через впровадження згаданих технологій дозволить зменшити витрати на транспортування на 20-30% та мінімізувати екологічний вплив. Це узгоджується з пріоритетами регіональної стратегії, яка передбачає залучення інвестицій та розвиток міжмуніципального співробітництва через договори про спільну діяльність.

Таким чином, реформування системи поводження з відходами на рівні регіонів вимагає переходу від системи розосереджених суб'єктів управління до структурованих кластерних моделей. Цифровізація є невід'ємним елементом цього процесу, проте її впровадження має бути екологічно, технологічно і економічно обґрунтованим.

Запропонований індекс цифрової доцільності може стати тим науково-методологічним інструментарієм, який дозволить ранжувати громади та кластери за пріоритетністю впровадження технологій моніторингу ТПВ із урахуванням специфіки сільських територій: низької щільності населення та логістичної неефективності.

Використані інформаційні джерела

1. Полтавська обласна адміністрація. (2021). Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року: проєкт.

<https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy>

2. Бредун В. І., Бредун А. В., Проблеми впровадження систем цифрового моніторингу твердих побутових відходів в сільських та селищних громадах Полтавської області. *Екологічна безпека та раціональне природокористування* : Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених, 14 листопада 2024 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2024. С.127–128.

3. Бредун, В., & Бредун, А. (2025). Аналіз можливостей впровадження технологій цифрового моніторингу у муніципальні системи управління твердими побутовими відходами громад Полтавської області. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 351(3.1), 75-80. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-8>

4. Управління твердими побутовими відходами в умовах реформування місцевого самоврядування та розвитку міжмуніципального співробітництва : Навчально-практичний посібник ; за заг. ред. Толкованова В. В., Ілляш О. Е., Журавля Т. В., Голіка Ю. С. Київ, 2018. 393 с.

5. Практичні аспекти управління відходами в Україні : Посібник / Барінов М. О., Олексієвець І. Л., Родная Д. В., Журавель Т. В., Коломієць С. В., Козлова І. А., Пархоменко Г. П. К. : «Поліграф плюс», 2021.118 с.

*Гура К., доктор філософії, директор центру сталих рішень
«GreenLabsKNU» географічного факультету*

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна*

**ЯК НАУКА ПРАЦЮЄ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ: ДОСВІД
ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЦЕНТРУ СТАЛИХ РІШЕНЬ
«GreenLabsKNU» ГЕОГРАФІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Війна в Україні призвела до масштабних екологічних наслідків, зокрема деградації агроландшафтів, забруднення ґрунтів і порушення екосистем. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, внаслідок російської агресії проти України було скоєно понад 8000 екологічних злочинів, а збитки сягнули 85 мільярдів Євро. [1] Ці злочини завдали значної шкоди довкіллю. В умовах післявоєнної відбудови актуальним є поєднання науково обґрунтованих рішень, міжнародних стандартів і практичних дій на національному та локальному рівнях.

Із цією метою у 2023 році на географічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка, за ініціативи кафедри фізичної географії та геоєкології, було створено Центр сталих рішень «GreenLabsKNU», який функціонує як платформа інтеграції науки, освіти та проєктної діяльності у сфері сталого розвитку та зеленого відновлення.

Діяльність Центру «GreenLabsKNU» ґрунтується на чотирьох взаємопов'язаних векторах: проєктна діяльність, наукові дослідження, розвиток партнерств і популяризація науки.

Одним із ключових міжнародних проєктів є RECOVER («Кліматично розумне відновлення сільського господарства на розмінованих територіях України»), який реалізується спільно з Chalmers University of Technology (Швеція) та WWF-Україна. У межах проєкту здійснюється аналіз відповідності національних стандартів міжнародним (ISO, регламенти ЄС), польові дослідження забруднених ґрунтів у регіонах, постраждалих від бойових дій, зокрема в Миколаївській області, а також напрацювання рекомендацій щодо застосування природоорієнтованих рішень (NbS) для відновлення агроландшафтів.

У рамках проекту було забезпечено процес відбору ґрунту з використанням геодезичних інструментів і маркування контрольних точок. Відбір здійснювали методом конверту, що забезпечує репрезентативність проб для подальшого лабораторного аналізу. Після відбору ґрунтів їх проведено для аналізу на базі LandscapeLabKNU. Отримані результати дозволять розробити науково обґрунтовані рішення для безпечного відновлення ґрунтів, що сприятиме відновленню сільського господарства на територіях, де були бойові дії.

Крім цього, Центр реалізує локальні прикладні ініціативи. Зокрема, у 2025 році за підтримки Департаменту суспільних комунікацій КМДА було реалізовано проект «Енергія молоді для зеленого міста: формування відповідального ставлення до природи через екопросвітництво». Проект спрямований на розвиток екологічної свідомості школярів і студентської молоді міста Києва та відповідає Стратегії розвитку міста Києва до 2027 року (напрями «Екополітика та охорона довкілля» та «Освіта»).

Висновки. Досвід GreenLabsKNU демонструє, що поєднання академічної експертизи, польових досліджень дозволяє створювати практичні моделі зеленого відновлення, які враховують екологічні, соціальні та економічні аспекти. Важливим результатом є залучення молодих фахівців до реальної роботи над екологічною відбудовою країни.

Використані інформаційні джерела:

1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічні наслідки війни: понад 8000 злочинів, збитки – 85 млрд євро. Офіційний звіт Міндовкілля України, 2025. URL: <https://mepr.gov.ua> (дата звернення: 20.10.2025).

Зима О. Є., кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОХОРОНИ ПРАЦІ: СИНЕРГІЯ БЕЗПЕКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ

Нова парадигма виробничої безпеки. В умовах глобальних викликів – кліматичної кризи, дефіциту ресурсів та технологічної трансформації – традиційний розподіл на «охорону праці» (HSE – Health & Safety) та «екологію» (Environment) стає неактуальним. Сучасна концепція EHS (Environment, Health, and Safety) розглядає підприємство як єдину екосистему, де безпека працівника нерозривно пов'язана зі станом довкілля.

Глобальні виклики як каталізатори змін. Сучасний стан промислового виробництва перебуває під безпосереднім впливом глобальних трансформацій, які вимагають перегляду фундаментальних засад безпеки. Кліматична криза виступає одним із найпотужніших детермінантів зміни умов праці. Екстремальні температурні коливання, зокрема аномальна спека, стають причиною зростання ризиків теплового стресу для персоналу, що працює на відкритих майданчиках або у приміщеннях без належної терморегуляції. Окрім фізіологічного впливу на організм людини, зміна клімату створює прямі загрози цілісності виробничої інфраструктури через підвищення ймовірності стихійних лих, що може призвести до масштабних техногенних аварій з екологічними наслідками.

Енергетичний перехід до відновлюваних джерел енергії, хоча і є екологічно виправданим, формує принципово нові вектори професійних ризиків. Робота з установками на основі водню вимагає специфічних протоколів вибухозахисту, а масове впровадження літійових акумуляторних систем створює небезпеку хімічних опіків та специфічного отруєння продуктами горіння при їх розгерметизації. Таким чином, «зелені» технології потребують паралельного розвитку стандартів охорони праці для запобігання новим видам виробничого травматизму.

Паралельно з цим, ресурсна обмеженість змушує підприємства переходити до моделі циклічної економіки (circular economy). Цей перехід кардинально змінює логіку поводження з промисловими відходами: те, що раніше підлягало утилізації, тепер стає вторинною сировиною. Це створює додаткові точки контакту персоналу з потенційно

небезпечними речовинами під час їх сортування, переробки та повторного введення у виробничий цикл.

Синергія екології та охорони праці: Точки перетину. Синергетичний ефект у сучасній СУОП досягається завдяки інтеграції заходів, які мають подвійну спрямованість: захист людини та збереження біосфери. Одним із ключових аспектів є стратегія мінімізації хімічного впливу. Заміна високотоксичних промислових розчинників або реагентів на екологічно безпечні аналоги (наприклад, перехід на водну основу) автоматично знижує ймовірність розвитку гострих та хронічних професійних захворювань у працівників і одночасно виключає потрапляння небезпечних сполук у стічні води та атмосферу.

Технічна модернізація вентиляційних та аспіраційних систем також демонструє високий рівень синергії. Впровадження високоефективних фільтраційних установок на джерелах викидів не лише очищує робочу зону від аерозолів та дрібнодисперсного пилу, захищаючи органи дихання персоналу, але й забезпечує дотримання нормативів ГДК (гранично допустимих концентрацій) для навколишнього середовища.

Концепція Vision Zero та екологічна відповідальність. Міжнародна стратегія Vision Zero («Нульовий травматизм») еволюціонує в бік інклюзивності екологічного складника. Сучасне сталє підприємство не обмежується лише безпекою праці; воно декларує прагнення до «нуля» як у контексті нещасних випадків, так і в контексті екологічних інцидентів (витоків, розливів, несанкціонованих викидів).

Фундаментом такої стратегії є інтеграція міжнародних стандартів. Поєднання ISO 45001 (менеджмент охорони праці) та ISO 14001 (екологічний менеджмент) дозволяє створити єдиний контур моніторингу ризиків. У рамках ризик-орієнтованого підходу аналізується взаємозв'язок: будь-яка виробнича аварія розглядається як подвійна загроза — для персоналу (травмування) та для місцевої громади (забруднення територій). Така конвергенція дозволяє оптимізувати ресурси на проведення аудитів та розробку превентивних заходів.

Технологічні інновації (Industry 4.0) у службі безпеки. Цифровізація стає головним інструментом досягнення синергії безпеки та екології. Використання мереж IoT-сенсорів дозволяє здійснювати прецизійний моніторинг середовища у режимі реального часу. Датчики одночасно фіксують концентрацію шкідливих газів як у безпосередній зоні дихання працівника (через носимі пристрої), так і на межі санітарно-захисної зони підприємства, що забезпечує комплексний контроль впливу на здоров'я та природу.

Технологія цифрових двійників (Digital Twins) відкриває нові можливості для прогностичного моделювання. Створення віртуальної моделі небезпечного виробничого об'єкта дозволяє симулювати різні сценарії техногенних відмов. Це дає змогу не лише розробити

максимально ефективні плани евакуації персоналу, а й розрахувати траєкторії поширення забруднюючих речовин для їх швидкої локалізації.

Штучний інтелект (АІ) у поєднанні з аналітикою великих даних забезпечує перехід від реагуючої до проактивної безпеки. Алгоритми АІ здатні прогнозувати критичний знос обладнання до моменту його фізичного руйнування. Це запобігає як механічному травмуванню працівників, так і неконтрольованим викидам агресивних хімічних середовищ, що часто трапляються при аварійному розриві трубопроводів або резервуарів.

Людський капітал та культура безпеки. Реалізація принципів сталого розвитку неможлива без трансформації свідомості персоналу. Екологічна відповідальність має стати невід'ємною частиною загальної корпоративної культури безпеки. Навчання працівників повинно виходити за межі сухого інструктажу з техніки безпеки. Тренінги щодо поводження з хімічними речовинами мають обов'язково включати інформацію про їхній довгостроковий вплив на екосистеми. Коли працівник розуміє, що неправильна утилізація відходів шкодить не лише «абстрактній природі», а й здоров'ю його родини через забруднення підземних вод, рівень дотримання правил безпеки зростає експоненціально.

До того ж, наукові дослідження підтверджують важливість психосоціальних аспектів: робота в екологічно відповідальній та безпечній компанії значно підвищує лояльність кадрів та знижує рівень професійного стресу. Працівники відчувають гордість за приналежність до підприємства, яке дбає про майбутнє, що позитивно позначається на загальній продуктивності та знижує кількість помилок через «людський фактор».

Отже, сталий розвиток підприємства в умовах глобальних викликів можливий лише за умови відмови від ізолюваного вирішення проблем. Тільки через поєднання турботи про людину та турботи про планету можна досягти справжньої виробничої стійкості.

Використані інформаційні джерела

1. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.
3. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.
4. Ткачук К. Н., Лук'янчук Л. С. Основи охорони праці : Підручник. К. : Основа, 2011. 450 с.
5. Головінський І. Л. Екологічна безпека та сталий розвиток : Навч. посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2021. 312 с.

*Ілляш О. Е., кандидат технічних наук, доцент,
Андренко А. О., здобувач другого (магістерського) рівня
вищої освіти*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАРКЕРІВ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПІСЛЯПРОЄКТНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ В РАЙОНАХ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

Система моніторингу є інструментом державного управління в галузі охорони навколишнього природного середовища, яка першочергово передбачає створення системи спостереження за станом довкілля в результаті здійснення суб'єктами господарювання різних видів діяльності [1, 2].

Вимоги законодавства [3] щодо проведення спостережень за станом довкілля під час здійснення (провадження) діяльності в ході післяпроектного моніторингу (ППМ) передбачають: моніторинг фактичного впливу на певні фактори довкілля, такі, як якість повітря, клімат, зміну клімату та викиди парникових газів, підземні води, поверхневі води, ґрунти і стан земель, біорізноманіття, природоохоронні території, у тому числі території та об'єкти природно-заповідного фонду чи їх охоронні зони, ландшафти.

Відповідно першочерговим етапом формування системи моніторингу за станом довкілля є визначення комплексу маркерів, за допомогою яких можна буде здійснювати кількісно-якісний аналіз динаміки тих змін, що відбуваються в довкіллі під впливом різних видів діяльності.

Маркери стану довкілля – це індикатори, до яких необхідно віднести: – фізико-хімічні **показники** стану певного компонента довкілля, зокрема, фактичні концентрації речовин, що потрапляють в довкілля в результаті діяльності підприємства, а їх перелік повинен відображати технологічну специфіку діяльності певного підприємства;

– **умови**, які враховуються і при яких здійснюються спостереження й виміри стану (якості або забруднення) компонентів довкілля.

Враховуючи вимоги законодавства [2] перелік маркерів стану довкілля необхідно поділити на такі групи: якість повітря; зміни клімату, передусім пов'язані із парниковими ефектами (викидам парникових газів); підземні води; поверхневі води; ґрунти і стан земель; біорізноманіття; ландшафти й природоохоронні території.

У межах проведеного дослідження був проаналізований досвід Комплексної навчально-науково-виробничої лабораторії НВЦ Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» щодо проведення досліджень компонентів довкілля, а саме атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, ґрунтів, шумового та вібраційного навантаження у районах розташування об'єктів нафтогазовидобування. У дослідженні також враховувались вимоги щодо охорони довкілля при спорудженні розвідувальних та експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші [4].

За результатами аналізу були сформовані рекомендації щодо комплексу маркерів стану довкілля.

Маркери стану повітря:

показники стану атмосферного повітря: фактичні концентрації речовин (мг/м^3) та/або показники перевищення ГДК за кожним показником

умови, які повинні враховуватися і при яких здійснюються спостереження:

– проведення вимірів із підвітряної сторони в межах житлової забудови, в сторону якої в момент вимірів дме вітер (а не просто обирається найближча забудова до об'єкту моніторингу);

– проведення вимірів у стандартних кліматичних умовах (при орієнтовно характерній середньомісячній швидкості вітру, вологості та температурі повітря);

– проведення вимірів при небезпечних метеорологічних умовах (при штилях та температурних інверсіях, туманах);

– при наявності складного характеру рельєфу місцевості вибір місця замірів необхідно обирати з урахуванням фактору зниження рельєфу.

Маркери стану підземних вод:

показники стану підземних вод: фактичні концентрації речовин (мг/м^3) та/або показники перевищення ГДК, які є характерними для специфіки об'єкту моніторингу (наприклад, нафтопродукти);

умови, які повинні враховуватися і при яких здійснюються спостереження:

– вибір місця забору проби води повинен визначатися з урахуванням гідрогеологічних характеристик даної місцевості, тобто враховуватися напрям підземних водопотоків від нафтогазового об'єкту до точки забору проби (а не навпаки, коли пріоритетно обирається найближчий колодязь або свердловина за географічною ознакою);

– рівень залягання підземних вод, динаміка зміни рівнів упродовж року і більше;

– бажано виключати при відборі проб джерела ґрунтових вод, що розташовуються у безпосередній близькості до сільськогосподарських угідь.

Маркери стану поверхневих вод:

показники стану поверхневих вод: фактичні концентрації речовин (мг/м^3) та/або показники перевищення ГДК та фізико-хімічні показники стану водойми;

УМОВИ, які повинні враховуватися і при яких здійснюються спостереження:

– вибір місця забору проби води повинен визначатися з урахуванням ухилу рельєфу місцевості від нафтогазового об'єкту до водойми (а не обирати за принципом найближчої водойми за географічною ознакою);

– при наявності в потенційній зоні впливу нафтогазових об'єктів водойм різного масштабу й категорії надавати перевагу для спостережень малим водоймам (ставкам, струмкам, притокам річок) як найбільш уразливим водним об'єктам від впливу господарської діяльності;

– виключати поверхневі водойми як об'єкт моніторингу, якщо: між нафтогазовим об'єктом та водоймою значна відстань (понад 500-1000м й більше); між нафтогазовим об'єктом та водоймою розміщені сільськогосподарські угіддя, території із складним рельєфом, лісовими масивами, житловими та урбанізованими територіями.

Маркери стану ґрунтів та земель:

показники стану ґрунтів: фактичні концентрації речовин (мг/м^3) та/або показники перевищення ГДК, фізико-хімічні та фізичні показники стану ґрунтів (їх перелік повинен відображати специфіку певних технологічних операцій).

УМОВИ, які повинні враховуватися і при яких здійснюються спостереження:

– місця забору проб ґрунту можуть обиратися: безпосередньо біля майданчика об'єктів нафтогазовидобутку, але з урахуванням ухилу рельєфу місцевості від нафтогазового об'єкту або в місцях зниження рельєфу; біля місць зберігання/захоронення відходів буріння (шламів, стічних вод, бурового розчину);

– місця забору проб ґрунту не повинні обиратися: безпосередньо на сільськогосподарських угіддях, біля транспортних магістралей.

Маркери впливу на здоров'я населення.

Усі фактори, що впливають на якість компонентів довкілля, є безпосередньо або опосередковано впливовими й на здоров'я людей. Однак додатковими факторами, що можуть погіршити умови життєдіяльності людей на прилеглих до нафтогазових об'єктів територіях – це шумовий та вібраційний. Із іншого боку ці фактори можна розглядати як фактори навантаження на повітряне середовище, які здатні суттєво погіршувати стан повітря.

Показники: еквівалентний та максимальний рівень звукового тиску, дБА, віброшвидкість, дБ, та віброприскорення, дБ, що вимірюються в повітряному середовищі

Умови, які повинні враховуватися і при яких здійснюються заміри шуму й вібрації:

– місця для замірів повинні обиратися: на межі найближчої житлової забудови; на спеціально облаштованих під'їзних дорогах до нафтогазових об'єктів, що проходять через або близько житлової забудови;

– заміри повинні проводитися на відкритих просторах, де відсутні перешкоди (лісопосадки, споруди, покрив з густою трав'яною чи чагарниковою рослинністю тощо).

Отже, у проведеному дослідженні акцентується увага на те, що дієвість системи моніторингу за станом довкілля значно залежить від двох складових: 1) від об'єктивності вибору комплексу маркерів стану довкілля; 2) від фаховості вибору та методології проведення спостережень за показниками навколишнього середовища.

Використані інформаційні джерела:

1. Постанова КМУ від 13 червня 2024 р. № 684 «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D0%BF#Text>

2. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 15.03.2024 № 291 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо здійснення післяпроектного моніторингу». Джерело оприлюднення: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-291-vid-15-03-2024/>

3. ГСТУ 41-00032626-00-007-97. Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних та експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші. Джерело оприлюднення: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2021/05/gstu-sporudjennia-sverdlovin.pdf>

4. ГСТУ 41-00032626-00-007-97. Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних та експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші. Джерело оприлюднення: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2021/05/gstu-sporudjennia-sverdlovin.pdf>

¹*Іщук Л. П., доктор біологічних наук, професор,*

²*Іщук Г. П., кандидат сільськогосподарських наук, доцент*

¹*Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України*

²*Уманський національний університет, м. Умань, Україна*

ПРОБЛЕМА ВИСИХАННЯ СТАВКІВ І МАЛИХ РІЧОК НА ПРАВОБЕРЕЖЖІ ЧЕРКАЩИНИ: ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ

Водні ресурси є одним із найважливіших природних компонентів, що формують умови життя населення та функціонування екосистем. Особливу роль відіграють малі річки й ставки, адже вони забезпечують локальні потреби в прісній воді, є середовищем проживання великої кількості видів, регулюють мікроклімат та беруть участь у формуванні рівня ґрунтових вод [3, 4]. На Правобережжі Черкаської області, де переважає лісостеповий ландшафт і аграрне землекористування, ці водні об'єкти відіграють критичну роль у підтриманні екологічної рівноваги.

Проте останні десятиліття характеризуються різким погіршенням стану малих річок та ставків. У багатьох громадах фіксують їхнє часткове або повне пересихання, замулення русел, зменшення дебіту джерел [5]. Ці процеси стали наслідком сукупності природних і антропогенних чинників і свідчать про глибоку трансформацію водного балансу регіону.

Правобережна частина області охоплює територію долин Тясмину, Ятрані, Гірського Тікичу, Гнилого Тікичу та їхніх приток. Для цієї місцевості характерні численні ставки – як природного, так і штучного походження, створені переважно для зрошення, риборозведення або протипожежних потреб. Проте в останні роки спостерігається:

- зменшення площі дзеркала ставків, інколи до 50-70% улітній період;
- висихання верхів'їв річок, де русла перетворюються на тимчасові балки;
- замулення ставків, що знижує їх глибину й прискорює заростання;
- зменшення об'ємів весняного водопілля, яке традиційно поповнювало водосховища та ґрунтові води.

Такі тенденції спостерігають у Звенигородському, Уманському, Черкаському районах, де інколи висихають навіть ті водні об'єкти, що раніше вважалися сталими й водонаповненими протягом року.

Основними причинами деградації малих річок і ставків є кліматичні зміни, зниження рівня підземних вод, меліоративні та гідротехнічні

перетворення, нераціональне землекористування та неналежна експлуатація ставків [11, 13, 14].

Останні десятиліття характеризуються зростанням середньорічної температури та збільшенням кількості посушливих періодів. Зимові сезони стають малосніжними, а весняне водопілля – малоінтенсивним. Це зменшує природне поповнення як поверхневих, так і підземних вод. Крім того, спостерігається нерівномірність опадів: замість довготривалих дощів переважають короткочасні зливи, які не здатні живити річки, натомість спричиняють ерозію [12-14].

Підземні горизонти відіграють ключову роль у підтриманні постійного водотоку малих річок. Через надмірне використання підземних вод для приватних господарств, аграрного сектору й промислових потреб рівень водоносних шарів поступово знижується. Відтак річки, що живляться переважно джерелами, втрачають притоки і пересихають.

У другій половині ХХ століття на Черкащині активно проводили меліорацію: створювали канали, осушували заболочені місцевості, спрямляли русла річок [5, 8]. Ці заходи були ефективними лише в короткостроковій перспективі. У довгостроковому ж призвели до:

- втрати природних регуляторів водного балансу;
- прискорення стоку води з водозборів;
- зниження здатності ландшафтів утримувати вологу.

Однією з найбільш критичних проблем є розорювання прибережних захисних смуг, що порушує природні механізми фільтрації та затримання води. Через це зростає поверхневий стік, який переносить ґрунт у водойми, пришвидшуючи замулення. Монокультурне землеробство, вирубування лісосмуг та інтенсивне використання добрив також негативно впливають на водні екосистеми [1, 2, 6].

Ставки, яким 30-60 років, потребують розчистки та реконструкції, але часто залишаються без догляду. Замулення, руйнування гребель та заростання призводять до прискореного обміління й зменшення водоутримувальної здатності.

Всі ці причини деградації ставків і малих водойм призводять до екологічних, соціально-економічних та гідрологічних наслідків. Для Правобережжя Черкащини характерне поступове зникнення видів, пов'язаних із водними екосистемами. Втрата місць нересту риб, скорочення площі місць існування водоплавних птахів, деградація амфібійних популяцій – усе це свідчить про руйнування біологічної рівноваги. Зникнення водних рослин і заболочених ділянок призводить до зменшення природного очищення води та трансформації мікроклімату [5, 6, 7, 8].

Жителі сільських громад дедалі частіше стикаються з проблемами водозабезпечення. У деяких селах колодязі міліють, а свердловини

потребують поглиблення. Погіршується рекреаційний потенціал територій, страждає рибне господарство. Сільське господарство зазнає збитків через нестачу води для зрошення та погіршення ґрунтової родючості.

Малі річки є важливими складовими річкових басейнів. Їхне зневоднення призводить до зменшення водності більших річок і водосховищ. Це поглиблює проблему посух, збільшує ризики деградації ґрунтів і сприяє опустелюванню окремих територій [10, 11].

Найбільші прояви деградації водних об'єктів фіксують у:

- Звенигородському районі – пересихання приток Гнилого Тікичу, оміління ставків у громадах Стецівка, Козацьке;
- Черкаському районі – зниження водності малих приток Тясмину;
- Уманському районі – замулення ставків і зникнення джерел у селах навколо міста Умані та у Христинівській, Жашківській, Монастирищенській громадах.

Як приклад, повністю висохлий ставок у селі Медовата Жашківської громади, розташований на лівій безіменній притоці річки Конелка у басейні річки Гірський Тікич (рис. 1). Вкрай обмілілий ставок у верхів'ї безіменної притоки річки Конелка на околиці села Копіювата Монастирищенської громади (рис. 2).



Рисунок 1 – Висохлий ставок у селі Медовата Жашківської громади

У зв'язку з цим, існує декілька шляхів розв'язання проблеми. Перш за все, необхідно розпочати екологічне відновлення річок і ставків шляхом розчищення русел із дотриманням природних форм рельєфу, поглиблення та реконструкції ставків і відновлення джерел і верхів'їв річок. Ключовим завданням є відновлення природних ландшафтів, зокрема, створення прибережних захисних смуг і введення заборони на їх розорювання, висаджування деревних рослин (*Salix alba* L., *S. fragilis* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., *A. incana* (L.) Moench.) з поверхнево кореневою системою, що утримують вологу та проведення рекультивації заболочених ділянок. Також необхідно звернути увагу на раціональне водокористування шляхом регулювання використання підземних вод, впровадження системи обліку водозабору та створення місцевих програм водозбереження.



**Рисунок 2 – Обмілілий ставок у селі Копіювата
Монастирищенської громади**

Систематично необхідно проводити наукові дослідження гідрологічних процесів та прогнозування зміни клімату і встановити пости спостереження за рівнями води. Запровадження освітніх та управлінських заходів сприятиме підвищенню обізнаності населення щодо необхідності охорони водних ресурсів, залучення громад та

громадських організацій до контролю за використанням водних ресурсів, які передбачені у Стратегії розвитку Черкаської області на період 2021-2027 роки [9]. Також необхідна розробка й фінансування регіональних програм відновлення водних екосистем.

Таким чином, проблема висихання малих річок і ставків на Правобережжі Черкащини є комплексною і пов'язана з кліматичними змінами, деградацією природних ландшафтів та нераціональним господарюванням. Її розв'язання вимагає одночасної дії на кількох рівнях: від локальних екологічних ініціатив до регіональних стратегічних програм.

Відновлення водних екосистем регіону є не лише екологічною потребою, а й важливою передумовою сталого розвитку територій, продовольчої безпеки, комфортного життя населення та збереження природної спадщини. Лише комплексний підхід і відповідальне ставлення до водних ресурсів дадуть змогу зупинити деградацію та повернути малим річкам їхню життєву силу.

Використані інформаційні джерела

1. Гідрохімія річок Лівобережного Лісостепу України : навч. посібник ; за ред. В. К. Хільчевського, В. А. Сташука. Київ : Ніка-Центр, 2014. 230 с.

2. Гололобова О. О., Дорогань В. В. Екологічна оцінка якості поверхневих вод малих та середніх річок Полтавської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. № 31. С. 84–95.

3. Денисик Г. І., Безлатня Л. О. *Антропогенні ландшафти Правобережної України*. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2018. 232 с.

4. Державне агентство водних ресурсів України. Регіональні доповіді про стан водних ресурсів Черкаської області. – 2018–2023. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> (дата звернення: 28.11.2025).

5. Іщук Л. П. Екологічний стан та основні джерела забруднення міста Умані: *Моніторинг природних і техногенних середовищ* : Матеріали Всеукр. наук. конф. (м. Сімферополь, 24-26 квітня. 2008 р.). Сімферополь : ДІАЙПІ, 2008. С. 140–143.

6. Іщук Л. П., Смоляр Н. О. Сучасний стан, продуктивність і соціологічна цінність корінних вербово-тополевих угруповань у пониззі річки Ворскли. *Наукові записки Тернопільського педагогічного університету Серія: Біологія*. 2017. № 1 (68). С. 52–58.

7. Іщук Л. П., Смоляр Н. О. Стан галерейних вербово-тополевих лісів у пониззі річки Ворскли. *Тернопільські біологічні читання – Тернопілія bioscience – 2017* : Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. з міжн. участю, присв. 20-річчю заснування фахового видання України «Наукові записки

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія». Тернопіль : ТОВ «Терно-граф», 2017. С. 57–61.

8. Мудрак О. В. та ін. Унікальні водні антропогенні ландшафти Поділля як перспективні заповідні об'єкти. *Збалансоване природокористування*. 2022. №3. С. 104–115. DOI: 10.33730/2310-4678.3.2022.266564.

9. Про Стратегію розвитку Черкаської області на період 2021-2027 роки URL: <https://www.oblradack.gov.ua/oblasn-programi> (дата звернення: 01.12.2025).

10. Резолюція 71/222 «Вода для сталого розвитку». Генеральна Асамблея ООН. 2015. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N16/460/03/PDF/N1646003.pdf> (дата звернення: 15.11.2025).

11. Семенюк М. М., Демчук Н. С., Козин М. С. Мультидисциплінарний підхід до проблеми охорони малих річок Житомирського Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2022. №2. С. 69–82. URL: <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.2.2023.69-84>

12. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. *Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (резюме дослідження)* ; під ред. Садогурської С. С. Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 32 с.

13. FAO. Water resources management under climate change. Rome, 2021.

14. IPCC. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 2022.

*Клок С. В., кандидат географічних наук, учитель географії,
Федорченко І. М., кандидат філософських наук, заступник директора,
Мазура В. І., директор, вчитель-методист,
Слепцова В. О., заступник директора, старший вчитель*

Бориспільський ліцей «Лідер», м. Бориспіль, Україна

СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ПО ДАНИМ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ БОРИСПІЛЬ

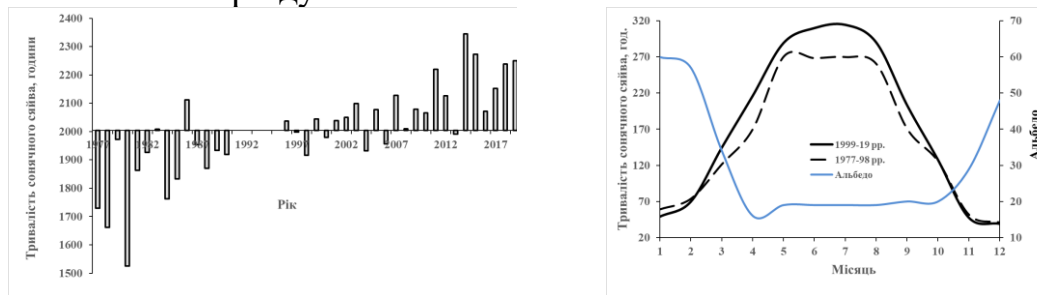
У роботі проведено аналіз даних гідрометеорологічних спостережень по метеорологічній станції Бориспіль, отриманих за період 1976-2019 роки (тривалість сонячного сьйва, середня, максимальна та мінімальна температура й відносна вологість повітря, швидкість вітру, а також атмосферні опади).

Актуальність роботи зумовлена необхідністю дослідження сучасних змін клімату та їх впливу на життєдіяльність людини. Адаптація до глобальної зміни клімату є процесом пристосування у природних чи людських системах у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні впливи, що дозволить знизити їх негативні наслідки та скористатися сприятливими можливостями. Відповідно, на сьогодні на всіх рівнях – від шкіл і широкої громадськості до керівників підприємств та урядовців - необхідна освіта і просвіта щодо зміни клімату, її наслідків і потенційних заходів реагування [2-5, 9].

Тенденції глобальної середньої температури, підвищення рівня моря, вміст тепла у верхній частині океану, танення наземного льоду, арктичний морський лід, глибина сезонного відтавання вічної мерзлоти та інші кліматичні зміни вказують на неспростовані докази потепління планети. Навіть якщо людству пощастить обмежити ріст температури на рівні 1,5 °С, погода лишиться екстремальною [7, 12].

Сонячна радіація є найважливішим елементом клімату: вона нагріває поверхню Землі, що в свою чергу визначає температуру повітря атмосфери. Надходження сонячного випромінювання призводить до випаровування, нагрівання повітря визначає його стабільність, що впливає на розвиток хмар і випадіння атмосферних опадів. Нерівномірний нагрів земної поверхні створює градієнти тиску, які призводять до вітру. Майже всі характеристики клімату залежать до надходження сонячної радіації. Тривалість сонячного сьйва – це відрізок часу впродовж доби, місяця або року, коли Сонце в даній місцевості знаходиться над горизонтом і не закрито хмарами, туманом, імлою, ін. [1-6].

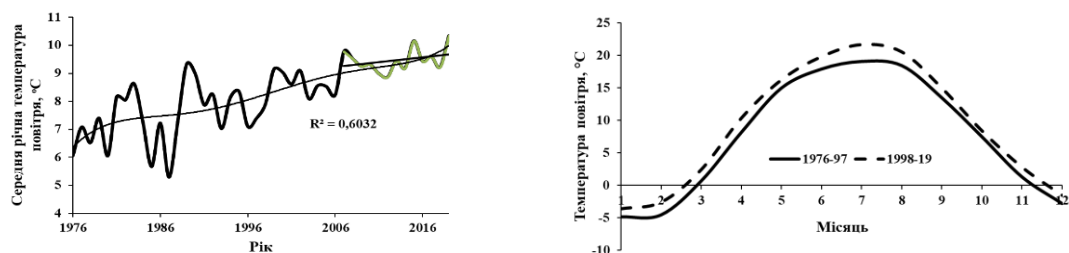
У районі станції Бориспіль спостерігається позитивний тренд характеристики погоди на всьому часовому проміжку, причому, починаючи з 2000-х років майже в усі роки вона вища за багаторічну норму (близько 2000 годин на рік), що демонструє рис. 1а. Річний розподіл тривалості сонячного сяйва за різні періоди спостережень 1977-1998 та 1999-2019 років разом з альбедо підстильної поверхні можна побачити на рис.1б. Маємо збільшення тривалості сонячного сяйва, особливо це стосується літнього періоду.



а) б)

Рисунок 1– Нормований а) та річний розподіл тривалості сонячного сяйва і альбедо поверхні б) за даними станції Бориспіль за період 1977-2019 роки

Відомо, що термічний режим атмосфери є найважливішим механізмом формування погодних умов та кліматичного режиму окремих територій. Крива розподілу середньої температури повітря по МС Бориспіль, що зображена на рис.2 а. На графіку бачимо певну стабілізацію характеристики погоди в останні два десятиліття, що може бути пов'язана зі зменшенням її амплітуди.



а) б)

Рисунок 2 – Середній багаторічний а) та річний хід а) температури повітря за даними МС Бориспіль за 1976-2019 роки

Порівняльний розподіл багаторічної середньомісячної температури повітря за різні періоди спостережень по станції відображено на наступному рис.2 б. Взаємне розташування кривих розподілу показує, що інтенсивніше зростання термічного режиму спостерігається у весняно-літній період.

Середня річна кількість опадів в Україні за базовий період (1961-1990 роки) складала 576 мм, за останні роки вона змінилася незначно і за період 1991-2013 роки складала 595 мм. Однак спостерігаються істотні зміни розподілу опадів усередині року [1, 4-6, 8]. Основні характеристики атмосферних опадів за період спостережень 1976-2019 роки по станції Бориспіль наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики атмосферних опадів по МС Бориспіль за період 1976-2019 роки

період спостережень		середньорічна кількість днів з опадами	середнє значення		максимальна кількість, мм			стандартне відхилення, мм
початок, дата	кінець, дата		мм/місяць	мм/рік	доба	місяць	рік	
01.01.1976	31.12.2019	194	47,2	566,2	<u>99,7</u> 31.05.2002	<u>180,2</u> 05.2002	<u>829,0</u> 2002	32,6

Середня багаторічна кількість опадів —576,9 мм, що близька до середніх базових показників по Україні [1]. Місячна їх норма складає 48,1 мм, а середньорічна кількість днів з опадами становить 161 день. Цікаво відмітити, максимуми (добові, місячні та річні) спостерігалися досить давно – тобто, екстремальність опадів упродовж останніх років суттєво не збільшується.

Річні суми опадів упродовж усього періоду спостережень, який аналізується, розподілені досить стабільно – тенденційні зміни характеристики погоди відсутні, що демонструє рис.3.

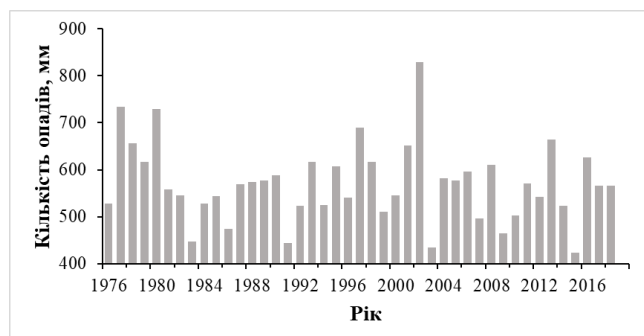
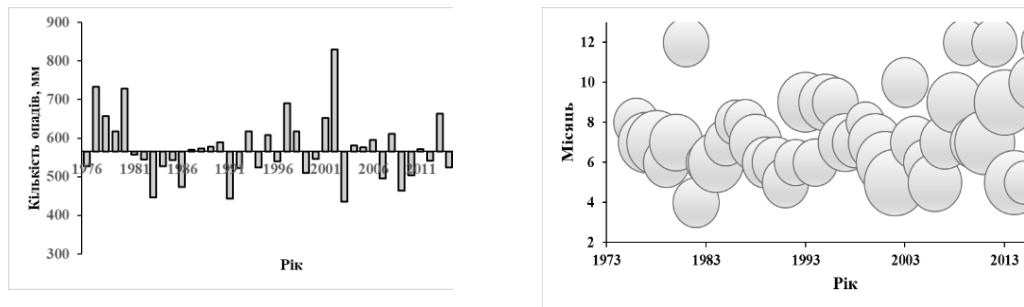


Рисунок 3 – Розподіл сумарних річних опадів за даними спостережень на МС Бориспіль за період 1976-2019 роки

Цікавим в прогностичному плані може бути нормована річна кількість опадів, розподіл якої можна побачити на рис.4 а. В даному випадку під нормою, як це прийнято в статистиці, розуміється середнє значення. В окремі роки річна кількість опадів є суттєво меншою за багаторічну норму – така тенденція зберігається і впродовж останніх років. Від’ємна амплітуда опадів домінує над позитивною. В окремі роки

атмосферних опадів спостерігається вкрай мало, або ж навпаки – багато, річна їх амплітуда складає близько 800 мм – рис.4а.

Рис.4 б демонструє розподіл модальної складової місячних сум атмосферних опадів. Слід уточнити, в статистиці модою абсолютно безперервного розподілу називають будь-яку точку локального максимуму щільності розподілу.



а)

б)

Рисунок 4 – Нормований розподіл а) та модальна складова б) сумарних місячних опадів за даними спостережень на МС Бориспіль за 1976-2019 роки

До 2000 року модальна складова опадів спостерігалася виключно у теплу пору року, то на сьогодні маємо її зміщення на зимові місяці. Враховуючи мінливий характер сучасних зим із частими відлигами, що вочевидь не сприяє процесу сталого снігонакопичення, можна зробити висновок про певне зменшення ефективності опадів в останні роки.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує наявність кліматичних змін в районі метеорологічної станції Бориспіль у розрізі глобальних змін клімату:

1. Спостерігається стійка тенденція до збільшення тривалості сонячного сяйва впродовж усього періоду спостережень.
2. Підвищення температури повітря відбувається як за рахунок фонові складової, так і в результаті збільшення екстремумів, хоча в останні десятиліття максимальні температури демонструють від’ємний тренд.
3. Порівняльний аналіз різних періодів спостереження показав ефективніше підвищення температури у весняно-літній період.
4. Річна сума атмосферних опадів залишається досить сталою, проте має місце їх перерозподіл упродовж року – центр ваги змістився в холодні місяці, що знижує їх ефективність в цілому.
5. Зменшення кількості днів з опадами на фоні стійкої їх кількості свідчить про збільшення їх екстремальності.
6. Спостерігається тенденція до зменшення відносної вологості повітря.

7. Упродовж останніх десятиліть фіксується зменшення середньої швидкості вітру, хоча екстремальність її залишається високою.

Адаптація до глобальної зміни клімату є процесом пристосування у природних чи людських системах у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні впливи, що дозволить знизити їх негативні наслідки.

Використані інформаційні джерела

1. Адаменко Т. І. (2014). Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату, 2014.

2. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко] ; за ред. С. П. Іванюти. К. : НІСД, 2020. 110 с.

3. Кліматичний кадастр України [Електронний ресурс] / Державна гідрометеорологічна служба [та ін.]. Електрон. дан. (29, 5 Мб). Київ, 2006.

4. Клімат України. (2003). За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К.: УкрНДГМІ, 343 с.

5. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.). Під ред. М.В. Ліпінського, В. М. Бабіченко. К. : Ніка центр, 2006. 311с.

6. Щербань М. І. (1991). Клімат і врожаї на Україні. К. : Знання, 32 с.

7. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

8. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office.

9. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/overview>

10. <https://superagronom.com/slovník-agronoma>

11. <https://www.meteo.gov.ua/ua/Slovník-meteorologichnikh-terminiv>

12. <https://ecoaction.org.ua/chitky-syhnal-diaty-ipcc.html>

*Коновалов А. О., здобувач PhD,
Тихенко О. М., доктор технічних наук, професор*

*Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
м. Київ, Україна*

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТУ ЯК КЛЮЧОВА СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

На сьогодні електрифікація транспорту пропонується як провідна та найбільш ефективна стратегія сталого розвитку урбанізованих територій. Електромобілі забезпечують миттєве покращення якості атмосферного повітря та зменшення шумового навантаження, будучи невід'ємною частиною концепції сталого міського розвитку.

Для забезпечення об'єктивної оцінки екологічних переваг електромобілів у порівнянні з транспортними засобами, оснащеними двигунами внутрішнього згорання, визначальне значення має методологія оцінювання життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA). LCA є стандартизованим інструментом, призначеним для кількісної оцінки всіх екологічних впливів об'єкта дослідження (продукту, процесу чи системи) протягом його повного життєвого циклу. Усі дослідження, пов'язані з оцінюванням життєвого циклу та інвентаризаційними дослідженнями життєвого циклу, незалежно від сектору економіки виконуються відповідно до ISO 14040 [1].

Оцінка життєвого циклу електромобіля проводиться згідно зі стандартами ISO 14040/14044 і охоплює всі п'ять основних етапів життєвого циклу електромобіля [1-2]:

1. Cradle-to-Gate – видобуток і переробка сировини, виробництво компонентів (особливо акумуляторної батареї, електродвигуна, кузова);
2. Gate-to-Gate – збирання автомобіля на виробництві;
3. транспортування готового електромобіля до дилера/споживача;
4. Use Phase – використання електромобіля, включаючи споживання електроенергії (заряджання) та технічне обслуговування;
5. End-of-Life, EoL – утилізація, переробка компонентів (особливо літій-іонних акумуляторів) та захоронення відходів.

Для порівняльної оцінки як функціональна одиниця може прийматися «один автомобіль, що проїхав 100 000 (або 150000) кілометрів» (або інша визначена відстань) за середньостатистичних умов експлуатації.

На етапі інвентаризаційного аналізу збираються кількісні дані про всі вхідні потоки (сировина, енергія) та вихідні потоки (викиди в повітря, воду та ґрунт, відходи) для кожного етапу життєвого циклу.

Найбільший вплив на довкілля на етапі виробництва електромобіля припадає на акумуляторну батарею (до 40-50 % від загального виробничого сліду). Особливу увагу потрібно приділити видобутку сировини для акумуляторної батареї (літій, кобальт, нікель, марганець, графіт) та енергоємності виробництва. Кількість та тип електроенергії, використаної на заводах із виробництва елементів та збирання акумуляторних батарей. Географічне розташування заводу є ключовим параметром.

Вплив на експлуатаційному етапі безпосередньо залежить від джерела електроенергії, що використовується для зарядження електромобіля. Це може електроенергія, що генерується переважно з вугілля чи газу. Відповідно екологічний слід електромобіля значно зростає. Або коли використовуються відновлювальні джерела енергії (вітрова, сонячна, гідроенергія). За використання альтернативних джерел енергії, вплив фази експлуатації електромобіля фактично мінімізується.

Tesla Model 3 є одним із лідерів серед вживаних електромобілів, які імпортуються в Україну. За даними асоціації автовиробників за листопад 2025 року, Tesla Model 3 посідає друге місце серед усіх імпортованих вживаних електромобілів. Кількість реєстрацій Tesla Model 3 становила близько 850-862 одиниці. Вона поступається лише Tesla Model Y [3].

Tesla Model 3 була розроблена як преміальний, але доступний електромобіль, який мав зробити електричний транспорт масовим. Її використання відрізняється від традиційних автомобілів завдяки глибокій інтеграції програмного забезпечення та інфраструктури Tesla. Tesla Model 3

є репрезентативною моделлю для проведення аналізу життєвого циклу.

LCA Tesla Model 3 слугує класичним прикладом для підтвердження екологічних переваг електромобілів. Усі розрахунки LCA ґрунтуються на даних цієї моделі (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихідні дані для оцінки життєвого циклу електромобіля Tesla Model 3

Параметр	Значення
Ємність батареї	75 кВт·год
Життєвий цикл	150000 км
Середнє споживання енергії	18,5 кВт·год/100 км
Інтенсивність енергоміксу	300 г CO _{2eq} /кВт·год

У таблиці 2 наведені кількісні дані щодо екологічного сліду (GWP) електромобіля Tesla Model 3 за етапами життєвого циклу.

Таблиця 2 – Екологічний слід електромобіля Tesla Model 3 за етапами життєвого циклу

Етап	GWP (т CO _{2eq})	Частка (%)
Виробництво	16,75	66,5
Експлуатація	8,33	33,0
Кінець циклу	0,1	0,5

Отже, Tesla Model 3, попри значний початковий «вуглецевий борг» при виробництві, забезпечує значне зниження викидів упродовж життєвого циклу. Критичним фактором є енергія, що використовується для виробництва та підкреслює необхідність паралельної декарбонізації енергетичного сектору для реалізації повних екологічних переваг електромобілів.

Оскільки BMW 3 Серії (G20) є прямим конкурентом Tesla Model 3, розрахунок їхнього екологічного сліду дає найбільш репрезентативну картину переваг електрифікації. Для розрахунку LCA, як типовий бензиновий аналог, використані характеристики моделі BMW 330i Steptronic (G20).

У таблиці 3 наведені кількісні дані щодо вуглецевого сліду електромобіля Tesla Model 3 та автомобіля з двигуном внутрішнього згорання BMW 330i.

Таблиця 3 – Екологічний слід електромобіля та автомобіля з двигуном внутрішнього згорання

Етап життєвого циклу	Tesla Model 3 (ЕВ) (т CO _{2eq})	BMW 330i (ДВЗ) (т CO _{2eq})	Ключовий внесок (%)
виробництво	16,75	~7,0	ЕВ вищий через батарею
експлуатація	8,33	25,31	ДВЗ вищий (у ~3,2 рази) через спалювання палива
кінець циклу (утилізація)	0,1	~0,1	рівнозначні
Всього (LCA)	25,18	~32,41	ЕВ має менший загальний слід

Отже, за умови однакового пробігу (150 000 км), загальний вуглецевий слід електромобіля Tesla Model 3 (25,18 т CO_{2eq}) буде приблизно на 44 % менший, ніж у аналогічного автомобіля з ДВЗ – BMW 330i (~32,41 т CO_{2eq}). Для BMW 330i найбільший вплив на GWP має етап виробництва (16,75 т CO_{2eq}) через виготовлення акумуляторної батареї. Для BMW 330i переважна більшість сліду припадає на етап експлуатації

(~25,31 т CO_{2eq}) через використання викопного палива. Якщо Tesla Model 3 заряджатиметься виключно відновлюваною енергією, його експлуатаційний слід наблизиться до нуля, а загальний GWP впаде до мінімуму (близько 10,3 т CO_{2eq}). Це посилює екологічну перевагу електромобілів у майбутньому.

Загалом масова електрифікація транспорту є необхідною передумовою для досягнення цілей сталого розвитку [4-5], оскільки електромобілі виступають ключовим інструментом для позитивного впливу на екологічну складову урбанізованих територій та глобальну кліматичну стійкість.

Використані інформаційні джерела

1. ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
2. ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment – Requirements and guidelines. URL: <https://www.iso.org/standard/38498.html>
3. Офіційний сайт Асоціації автовиробників України «Укравтопром» [Електронний ресурс]. URL: <https://ukrautoprom.com.ua>
4. Цілі сталого розвитку в Україні. United Nations. Ukraine. URL: [Lhttp://sdg.org.ua/ua/pro-hlobalni-tsili/qualityeducation](http://sdg.org.ua/ua/pro-hlobalni-tsili/qualityeducation)
5. Указ Президента України від 30 вересня 2019 року № 722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>

*Литвиненко О. О., аспірант,
Кутний Б. А., доктор технічних наук, професор*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ ГАЗУ: АНАЛІЗ РИЗИКІВ ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ БОРТЬБИ З ГІДРАТАМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В умовах зростання енергоспоживання та необхідності забезпечення енергетичної незалежності України, питання надійності газотранспортної системи (ГТС) набуває стратегічного значення. Критичним фактором, що впливає на стабільність роботи магістральних та промислових газопроводів, є утворення газових гідратів. Ці клатратні сполуки, що складаються з молекул газу (переважно метану) та води, кристалізуються при високих тисках та помірних температурах, створюючи масивні пробки. Це призводить до зменшення прохідного перерізу труб, зростання гідравлічного опору, а в критичних випадках – до повного зупинення перекачування та аварійних розривів трубопроводів. Традиційні методи боротьби, що базуються на хімічному інгібуванні, є ефективними технологічно, проте вкрай небезпечними екологічно. Метою даної роботи є комплексний аналіз екологічних ризиків існуючих методів та обґрунтування впровадження електромагнітних технологій.

Аналіз екологічних недоліків хімічних методів. На сьогоднішній день основним способом попередження гідратоутворення є використання термодинамічних інгібіторів. Принцип їх дії полягає у зміщенні рівноважних умов утворення гідратів в область нижчих температур. Найбільш поширеними реагентами є метанол (CH_3OH) та гліколі (етиленгліколь, діетиленгліколь). Попри широке застосування, ці речовини характеризуються високою токсичністю та здатністю до міграції у навколишньому середовищі.

Особливе занепокоєння викликає використання метанолу. Це нервово-судинна отрута з вираженим кумулятивним ефектом. При потраплянні у водойми метанол викликає загибель гідробіонтів навіть у незначних концентраціях. Проблемою є також недосконалість систем регенерації: значна частина інгібітора втрачається безповоротно.

Порівняльна характеристика впливу інгібіторів на довкілля наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Еколого-токсикологічна характеристика інгібіторів

Тип інгібітора	Клас небезпеки	Екологічні ризики та наслідки
Метанол (CH ₃ OH)	3 (легкозаймисті рідини) 6.1 (токсичні речовини)	Швидке проникнення у ґрунтові води, висока леткість, отруєння атмосфери при стравлюванні газу.
Етиленгліколь (C ₂ H ₆ O ₂)	3 (помірно небезпечні речовини)	Змінює біохімічне споживання кисню у водоймах, важко піддається біодеградації.
Хлорид кальцію (CaCl ₂)	3 (помірно небезпечні речовини)	Спричиняє корозію обладнання (свищі), що веде до вторинних витоків газу, засолення ґрунтів.

Крім прямих витоків, серйозну загрозу становить процес утилізації відпрацьованого інгібітора. Водометанольний розчин, що виводиться з системи, містить розчинені важкі вуглеводні, механічні домішки та продукти корозії. Закачування таких відходів у поглинаючі горизонти створює ризик забруднення підземних вод у довгостроковій перспективі.

Обґрунтування електромагнітного методу впливу. Альтернативою хімічним методам є фізичний вплив на потік газу, зокрема використання електромагнітного поля (ЕМП) надвисокої частоти. На відміну від термічного методу (підігріву труб), який є енергоємним через необхідність прогрівати метал та весь об'єм газу, ЕМ-вплив базується на селективному діелектричному нагріві.

Молекули води є диполями, які під дією змінного електромагнітного поля починають інтенсивно обертатися, долаючи сили міжмолекулярного тертя. Це призводить до виділення тепла безпосередньо всередині водної фази або кристала гідрату. Потужність тепловиділення описується рівнянням:

$$P = 2\pi f E^2 \varepsilon_0 \varepsilon''$$

де P – потужність тепловиділення (Вт/м³); f – частота поля (Гц); E – напруженість поля (В/м); ε_0 – електрична стала; ε'' – коефіцієнт діелектричних втрат.

Ефективність методу обумовлена тим, що коефіцієнт ε'' для води у діапазоні СВЧ (2450 МГц) становить близько 10-12, тоді як для метану та сталі він прямує до нуля. Це забезпечує точковий нагрів саме тих зон, де

існує ризик утворення пробок, не витрачаючи енергію на нагрів «сухого» газу.

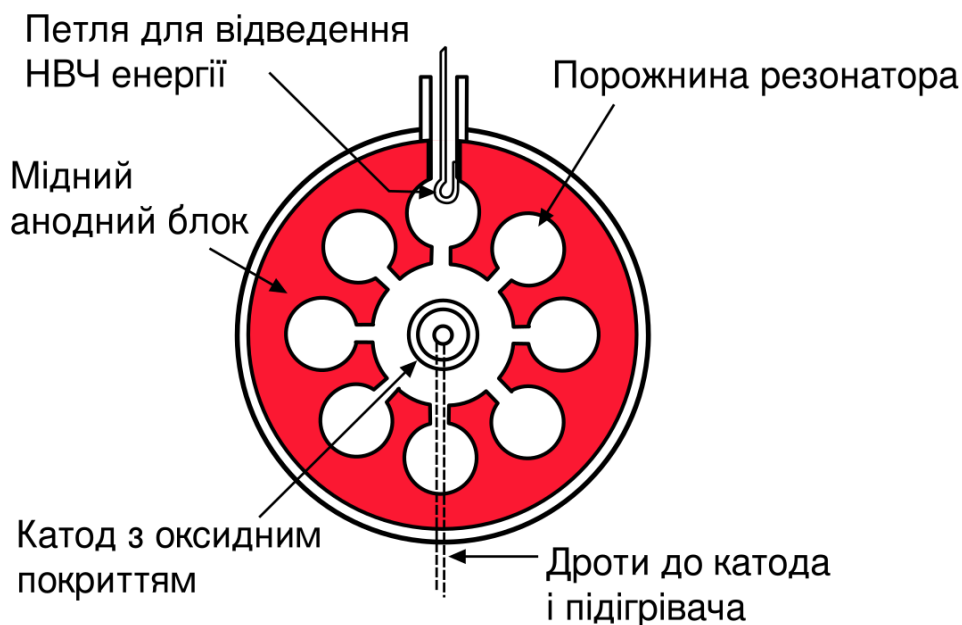


Рисунок 1 – Принципова схема резонансного магнетрону

Важливим аспектом є також руйнування так званої «структурної пам'яті» води. Дослідження показують, що після термічного розкладання гідратів у воді залишаються кластери, які стають центрами кристалізації при повторному охолодженні. Вплив височастотного поля гіпотетично може руйнувати водневі зв'язки, перешкоджаючи швидкому повторному утворенню пробок. Але дана гіпотеза потребує подальших теоретичних та емпіричних досліджень.

Таблиця 2 – Порівняння ефективності методів

Критерій порівняння	Хімічний інгібітор	Електромагнітний метод
Екологічна безпека	Низька (ризик розливів, токсичні відходи)	Висока (відсутність реагентів, чиста технологія)
Енергоефективність	Середня (витрати на регенерацію, важливо оцінювати відсутність поширення технології регенерації на українському ринку)	Висока (селективний нагрів лише води)
Економічні фактори	Високі операційні (OpEx)	Високі (закупівля обладнання), але мінімальні OpEx

Порівняльний аналіз техніко-економічних показників. Для оцінки доцільності впровадження методу було проведено порівняльний аналіз операційних витрат та ризиків (таблиця 2). Відмова від реагентів дозволяє не лише знизити екологічне навантаження, але й зменшити експлуатаційні витрати на логістику та зберігання хімікатів.

Висновки.

1. Проведений аналіз довів, що традиційні методи боротьби з гідратами не відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки. Використання метанолу створює постійну загрозу забруднення гідросфери та ґрунтів.

2. Запропонована технологія електромагнітного впливу дозволяє вирішити проблему гідратуутворення без використання токсичних речовин. Селективність нагріву забезпечує високу енергоефективність процесу.

3. Впровадження електромагнітних технологій сприятиме модернізації газотранспортної системи України, зниженню вуглецевого сліду та мінімізації техногенних ризиків при транспортуванні вуглеводнів.

Використані інформаційні джерела

1. Лапіга І. В. Екологічні аспекти використання хімічних реагентів у нафтогазовій галузі. *Екологічна безпека*. 2023. № 2. С. 45–50.

2. Carrol J. Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers. – Gulf Professional Publishing, 2014. 320 p.

3. Баранов О. Ю. Вплив електромагнітних полів на фазові переходи у вуглеводневих системах. К. : Наукова думка, 2019.

4. Sloan E.D., Koh C.A. Clathrate Hydrates of Natural Gases. – CRC Press, 2008. 752 p.

5. ДСТУ 4160-2003. Охорона довкілля. Технології захисту. Загальні вимоги.

*Магась Н. І., кандидат технічних наук, доцент,
Свинарчук К. О., магістр*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

АНАЛІЗ ЗМІН СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Каховське водосховище впродовж десятиліть було ключовим елементом водогосподарської та енергетичної системи півдня України: забезпечувало роботу гідроенергетичного комплексу, питне водопостачання, зрошення та річковий транспорт, а також відіграло важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги долини Дніпра [1, 2, 5]. За даними супутникового аналізу, перед катастрофою площа водного дзеркала становила близько 2157 км², тобто практично вся чаша водосховища була заповнена водою.

6 червня 2023 року унаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС відбулося стрімке осушення водосховища. Рівень води незадовго до аварії був підвищеним (16,79 м БС, що на 0,79 м вище НІР), за окремими оцінками – до $\approx 17,5$ м над рівнем моря. Це визначило масштаби подальшого осушення чаші, яке мало драматичні наслідки для гідрологічного режиму, водних та наземних екосистем, водопостачання та агровиробництва [1-3, 5]. Особливе занепокоєння викликала доля оголеного дна, де впродовж понад шести десятиліть накопичувалися мулові відклади, органічна речовина та солі, що породило припущення про формування безплідної або токсичної території [3, 4, 5].

Метою дослідження є комплексна оцінка екологічного стану та ступеня трансформації території колишнього Каховського водосховища після техногенної катастрофи 2023 року за даними дистанційного зондування Землі, а також виявлення основних тенденцій природного відновлення та збережених зон екологічної вразливості.

Територія дослідження охоплює чашу колишнього Каховського водосховища в межах Херсонської та Запорізької областей, включно з усією площею довоєнного водного дзеркала (≈ 2157 км²). Аналіз охоплює період від літа 2023 до осені 2025 року із виділенням трьох сезонів щороку (весна, літо, осінь), що дозволило оцінити як міжрічні, так і сезонні зміни.

Основу інформаційної бази становили супутникові знімки Sentinel-2 для аналізу рослинності, вологості, засолення та водної поверхні, а також термальні дані Landsat 8/9 для визначення температури поверхні.

Оброблення даних здійснювали на платформі Google Earth Engine з формуванням сезонних медіанних композитів із безхмарних пікселів.

Для комплексної оцінки було розроблено інтегральний індекс деградації Ід, що поєднує засолення, дефіцит вологи, нормалізовану температуру поверхні та відсутність рослинності. Усі компоненти нормалізовано до діапазону (0; 1), а значення $I_d > 0,5$ трактували як критичний стан.

Для інтерпретації результатів виконано класифікацію поверхні на вісім типів: вода, затоплені території, здорова рослинність, рідка рослинність, рослинність під водним стресом, оголений ґрунт, суха поверхня та солончаки. Окремо аналізувалися ділянки з рослинністю під водним стресом як індикатор екологічної вразливості.

До руйнування греблі водна поверхня займала майже всю площу чаші (≈ 2157 км²). Вже влітку 2023 року, через кілька тижнів після катастрофи, площа води скоротилася до ≈ 292 км², тобто було втрачено близько 86 % початкового водного дзеркала. Осушення відбувалося нерівномірно: найшвидше – на мілководдях північної та крайових частин, тоді як глибші ділянки поблизу греблі та в русловій зоні утримували воду довше.

У 2024-2025 роках скорочення водної поверхні тривало більш повільно, і до осені 2025 року площа збереженої води стабілізувалася на рівні ≈ 128 км² (≈ 6 % від довоєнної). Залишкова вода зосереджена у відновленому руслі Дніпра, окремих озерах у знижених формах рельєфу та в зонах близького до поверхні залягання ґрунтових вод. Таким чином, водосховище фактично трансформувалося у поєднання річкової системи та комплексу дрібніших водойм, а понад 1900 км² перетворилися на нові наземні екосистеми.

Оцінка за значеннями індексу вегетації виявила три фази розвитку рослинного покриву. У червні–липні 2023 року (фаза відсутності рослинності) індекс на оголеному дні водосховища був близьким до нуля ($I_{veg} \approx 0,00–0,05$), що відповідає свіжо осушеним муловим поверхням. У серпні–жовтні 2023 року (фаза первинної сукцесії) I_{veg} зріс до $0,15–0,40$, що свідчить про формування розрідженого трав'яного покриву з участю рудеральних видів і галофітів.

У 2024-2025 роках (фаза активного відновлення) відбулося інтенсивне нарощування рослинної біомаси. Улітку 2024 року середній I_{veg} досяг $\approx 0,5–0,55$, а влітку 2025 року – $\approx 0,57–0,58$, при максимальних значеннях до $0,9–0,93$, характерних для густих трав'янистих ценозів. Таким чином, за два роки індекс вегетації зріс від майже нульових значень до рівнів, типових для здорової трав'яної рослинності, що суттєво перевищує очікувані темпи сукцесії на техногенно змінених територіях і спростовує прогнози щодо формування «пустельного» ландшафту.

Вологісний режим поверхні радикально змінився після осушення.

Улітку 2023 року на свіжо оголених мулистих відкладах зафіксовано різко виражений дефіцит вологи (від'ємні значення Івол, до $-0,4$), що відображає швидке пересихання поверхневого шару під дією інтенсивного випаровування. Улітку 2024 року індекс вологості зріс до рівня, близького до оптимального для рослинності, що узгоджується з фазою активного відновлення травостою. Весняна посуха 2025 року спричинила тимчасове зниження Івол та розширення площ із ознаками водного стресу, а влітку 2025 року показники вологозабезпечення знову стабілізувалися завдяки літнім опадам. Позитивна кореляція між Івег та Івол ($r \approx +0,67$) свідчить про взаємне підсилення відновлення рослинності та поліпшення вологісного режиму.

Температурний режим поверхні після зникнення води характеризувався значним перегрівом. Улітку 2023 року поверхнева температура оголеного дна в середньому була на $7-12$ °С вищою, ніж температура води до катастрофи, а локальні максимуми на сухих мулистих осадах досягали $52-59$ °С. У 2024-2025 роках сформувався виражений температурний контраст: ділянки з активним рослинним покривом мали температуру на $6-10$ °С нижчу, ніж оголені поверхні, де $T_{п}$ усе ще перевищувала 50 °С. Це відображає розвиток мікрокліматичної мозаїки та охолоджувальний ефект рослинності. Висока кореляція між $T_{п}$ та Ід ($r \approx +0,72$) вказує, що перегрів є важливим компонентом деградаційних процесів, а його послаблення – ключовою умовою відновлення.

Осушення водосховища супроводжувалося активізацією процесів засолення донних відкладів. Уже на знімках Sentinel-2 від 25.06.2023 видно великі світлі плями, що відповідають зонам пересихання з кристалізацією солей. Улітку 2023 року середній індекс засолення Ісол на оголених ділянках становив $\approx 0,13$, а максимальні значення досягали $\approx 0,32$, що є типовим для поверхонь з вираженими мінеральними/соляними відкладами.

До осені 2025 року середній Ісол зменшився до $\approx 0,09$, а частка площ із критичним засоленням ($Ісол > 0,25$) скоротилася орієнтовно з 15 до 3,1 %. Це свідчить про істотне природне послаблення сольового навантаження, яке забезпечується поєднанням фіторемедіації (акумуляція солей рослинами, насамперед галофітами) та промивання солей атмосферними опадами. Найсильніший негативний зв'язок між Івег та Ісол ($r \approx -0,79$) підтверджує, що розвиток рослинності є ключовим фактором зменшення засолення.

Інтегральний індекс деградації Ід узагальнює наслідки дефіциту вологи, перегріву, засолення та низької рослинності. Улітку 2023 року середні значення Ід відповідали майже критичному стану, а на найбільш деградованих ділянках перевищували 0,8. Упродовж наступних двох років індекс демонстрував послідовне зниження: уже влітку 2024 року він

відповідав «задовільному» стану, а до осені 2025 року – «доброму», що означає приблизно 60-відсоткове зменшення інтегральної деградації порівняно з кризовим літом 2023 року.

Класифікація покриття показала кардинальну зміну структури поверхні. Якщо у 2023 році домінували оголений ґрунт, сухі поверхні та солончаки (понад 70 % площі), то до осені 2025 року здорова рослинність займала близько 892 км² (≈41-42 % території), рідка рослинність – 524 км² (≈24 %), а загальна частка територій з рослинним покритвом різного ступеня розвитку досягла ≈66 %. Площа солончаків і сухих поверхонь скоротилася до менш ніж 8 %. Ділянки з рослинністю під водним стресом займали 12-13 % території, що не є критичним, але вказує на сезонну вразливість до посух і потребу в подальшому моніторингу.

Результати дворічного супутникового моніторингу формують цілісну картину екологічних процесів у чаші колишнього Каховського водосховища в перші 2-2,5 роки після руйнування греблі. Найважливіший висновок полягає в тому, що територія не набула рис незворотно деградованого солончакового чи «пустельного» ландшафту, а навпаки демонструє дуже високий потенціал природного самовідновлення.

Кількісні показники свідчать про:

- перехід від повної відсутності рослинності до сформованого трав'яного покриття на ≈66 % площі колишнього дна;

- суттєве зменшення засолення (скорочення площ критично засолених ділянок з ≈15 до 3,1 %);

- пом'якшення перегріву поверхні та стабілізацію вологісного режиму;

- зниження інтегрального індексу деградації Ід від майже критичного до доброго стану.

Кореляційний аналіз підтверджує ключову роль рослинності – її розвиток одночасно знижує температуру поверхні, покращує вологість і послаблює засолення, запускаючи каскад позитивних зворотних зв'язків відновлення.

Із позиції управління територією це означає, що за відсутності рішення про відновлення водосховища, базовим підходом має бути підтримка й спрямування природного відновлення, а не його заміщення масштабними штучними втручаннями. Активні заходи доцільно концентрувати на солончаках (фітореMediaція галофітами) та ділянках із рослинністю під водним стресом (посилений моніторинг, адаптаційні заходи у посушливі роки). В умовах війни пріоритетом є дистанційний супутниковий контроль, зокрема за пожежами та екстремальними подіями; після деокупації – поетапна рекультивация, спрямована на формування стійких природних комплексів і потенційних природоохоронних територій.

Отже, територія колишнього Каховського водосховища не перетворилася на пустелю, а демонструє надзвичайно високу здатність до природного самовідновлення. За умови припинення воєнних дій, збереження сприятливого гідрометеорологічного режиму та впровадження точкових, науково обґрунтованих заходів підтримки, цей унікальний посткатастрофічний ландшафт має перспективу стати унікальним полігоном для вивчення природного відновлення значних площ антропогенно змінених ландшафтів.

Використані інформаційні джерела

1. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Natural processes in the area of the former Kakhovske reservoir after the destruction of the Kakhovka HPP. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 147–164. – DOI: 10.2478/jlecol-2024-0014.

2. Pichura V. I., Snizhko S. I., Ladyka V. I. et al. Scenarios for the functioning of the Kakhovka Reservoir territory after dam destruction. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 118–154. – DOI: 10.2478/jlecol-2025-0023.

3. Dovhanenko D. O., Vlasenko V. A., Shapovalov V. Y. Characteristic of the dried-up zone formed as a result of the destruction of the Kakhovka Reservoir dam (Ukraine). *Biosystems Diversity*. 2024. Vol. 32, No. 2. P. 285–295. – DOI: 10.15421/012431.

4. Kuzemko A. A., Vynogradova O. M., Polishchuk V. V. et al. Initial stages of revegetation at the bottom of the drained Kakhovka Reservoir (Ukraine): synthesis of field surveys and remote sensing. *Ukrainian Botanical Journal*. 2025. Vol. 82, No. 5 P. 488–502. – DOI: 10.15407/ukrbotj82.05.488.

5. Shumilova, O., Sukhodolov, A., Osadcha, N., Oreshchenko, A., Constantinescu, G., Afanasyev, S., & Grossart, H. P. (2025). Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*, 387(6739), 1181–1186. DOI: 10.1126/science.adn8655

*Скляр В. Г., доктор біологічних наук, професор,
Кунцевський Д. І., аспірант*

*Сумський національний аграрний університет,
м. Суми, Україна*

ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ЛІСОВИМ ЕКОСИСТЕМАМ ТА ДЕЯКІ НАПРЯМИ ЇХ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ

Сучасні екосистеми, зокрема лісові, функціонують у умовах погіршення стану довкілля, яке ще у ХХ столітті переросло в глобальну екологічну кризу. На відміну від попередніх природних криз, ця має іншу природу, адже виникла не через природні процеси, а внаслідок демографічних змін і розвитку технологій та виробництва, і охоплює всю планету. Швидкість змін у біосфері, спричинених цією кризою, виявилася у сотні й тисячі разів вищою за темпи природної еволюції.

Кліматичні зміни, значною мірою викликані спалюванням викопних ресурсів і знищенням природної рослинності, становлять один із найсильніших факторів впливу на всі природні системи Землі. До глобальних змін, що взаємодіють із кліматичними, належать також підвищення рівня озону в атмосфері, зростання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, накопичення сполук азоту, посилення процесів евтрофікації, збільшення кількості екстремальних природних явищ та зміни у землекористуванні [3].

На тлі потепління клімату види рослин можуть втратити «кліматичну облонку», тобто простір, у якому вони виживають та розмножуються в природних умовах. При цьому якщо вид є екологічно важливим компонентом великої екосистеми, можливо очікувати потенційну втрату цілісності цієї екосистеми [6]. Для лісів стають цілком можливими зміни в географії, рівні стійкості, продуктивності та їх видовому складі. Зокрема, за результатами досліджень, проведених в лісах північної Європи, показано, що на тлі потепління клімату ліси із переважанням *Picea*, демонструють швидший перехід до домінування бука (*Fagus*) та інших листяних порід помірною поясу [5].

У результаті трансформації клімату та пов'язаних із цим процесів, очікується підсилення фрагментації рослинного покриву, а також зміни в рівні генетичної мінливості, поширенні видів, фенології, в системі взаємодій з тваринами, і, загалом, в рівні стійкості екосистем [2, 6]. На тлі збільшення фрагментованості зростає вірогідність інвазії в лісові фітоценози видів, не характерних для природних неперушених фітоценозів, та відповідно, змін у стані популяцій видів місцевої флори.

Це є особливо небезпечним у зв'язку з наявністю в лісах раритетного фіторізноманіття: рідкісних видів рослин та рослинних угруповань. Зазначені тенденції можуть мати наслідком перехід низки популяцій рослин у критичний стан та, відповідно, призвести до загострення проблеми збереження біорізноманіття загалом та рідкісних видів зокрема.

За деякими оцінками, потепління клімату може сприяти розширенню площ лісів у бореальній зоні. Проте, загалом зміни довкілля прогнозуються як несприятливі для лісової рослинності, адже очікується зменшення кількості опадів, підвищення температури на 2-3%, скорочення запасів вологи та, відповідно, зниження продуктивності лісів. Одночасно з цим зменшиться стійкість рослин до хвороб, зросте ризик лісових пожеж.

Усі зазначені зміни, які супроводжують зміни клімату, мають важливе значення для системи лісоуправління, прогнозування динаміки лісових екосистем та здійснення екологічного моніторингу [4]. На сьогодні основними видами моніторингу вважають екологічний і біологічний. Метою екологічного моніторингу є комплексне оцінювання стану біосфери, включно з природним середовищем, ресурсами та живими організмами. Він охоплює широкий спектр методів. Біологічний моніторинг, на відміну від екологічного, зосереджений безпосередньо на спостереженні за організмами. На підставі їхнього стану можна оцінювати біологічні наслідки змін довкілля, але щодо екологічних чинників, які ці зміни спричиняють, висновки здебільшого мають характер припущень. Таким чином, обидва види моніторингу є взаємодоповнювальними.

Моніторингові дослідження мають бути спрямовані на отримання інформації, потрібної для ухвалення практичних рішень, пов'язаних із збереженням лісових фітоценозів. Необхідно створювати програми моніторингу, незалежні від відомчих інтересів. При цьому важливе значення має дотримання наступного алгоритму:

1. Вибір параметрів для моніторингу.
2. Вибір еталонних територій.
3. Визначення періодичності збору даних.
4. Створення баз даних результатів моніторингу.
5. Розроблення рекомендацій, спрямованих на сприяння стійкому існуванню популяцій та фітоценозів.
6. Передача результатів моніторингу і рекомендацій, зроблених на їх підставі, лісокористувачам та природоохоронним організаціям.
7. Ухвалення рішень, спрямованих на сприяння стійкому існуванню популяцій ценозоутворюючих видів та лісових екосистем загалом, та їхнє практичне втілення.

Різновидом біомоніторингу є популяційний моніторинг. Він є системою спостережень за станом популяцій рослин та тварин.

Популяційний фітомоніторинг – це його частина, орієнтована на популяції рослин.

Дослідження, проведені на теренах Сумської області, показали, що популяції лісоутворювальних видів чутливо реагують на еколого-ценотичні параметри місцезростань і за своїми показниками дозволяють оцінювати ступінь сприятливості умов щодо їхнього сталого функціонування та реалізації успішного природного відновлення як механізму забезпечення функціонування лісових фітоценозів. Це об'єктивно вказує на необхідність включення популяційного фітомоніторингу до загальної системи спостережень за станом лісів.

Вважаємо, що популяційний моніторинг для лісоутворювальних видів та їх природного відновлення повинен включати:

1. Встановлення для лісових фітоценозів видового складу природного відновлення.

2. Оцінку показників репродукції у генеративних особин лісоутворювальних видів.

3. Встановлення для площ відновлення популяційної щільності особин кожної когорти та сумарної щільності всіх особин молодого покоління.

4. Визначення онтогенетичної структури популяцій лісоутворювальних видів.

5. Визначення вікової структури когорт лісоутворювальних видів.

6. Оцінку розмірних характеристик особин різних когорт лісоутворювальних видів та розмірної структури когорт.

7. Виявлення віталітетної структури когорт лісоутворювальних видів та характеру динаміки віталітетних параметрів за етапами природного відновлення.

8. Встановлення закономірностей просторового розміщення рослин різних когорт на ділянках відновлення.

9. Виявлення основних стрес-факторів, небезпечних для конкретних когорт лісоутворювальних видів та їхніх популяцій загалом.

10. Встановлення для популяцій лісоутворювальних видів та їхніх когорт параметрів екологічного, ценотичного та комплексного еколого-ценотичного оптимумів.

11. Надання прогнозу подальшого стану досліджуваних фітоценозів.

Визначення зазначених характеристик передбачає використання не тільки методик комплексного популяційного аналізу, а й геоботанічних методів і, крім того, спеціальних методик оцінки стану лісових фітоценозів. Бажано доповнювати такі дослідження й «приладовою», оцінкою стану абіотичних параметрів довкілля або ж формувати таку інформацію на основі методів фітоіндикації.

Серед заходів, що можуть зміцнити стійкість лісових екосистем на глобальному та регіональному рівнях і протидіяти процесам, які ускладнюють їхнє природне самопідтримання та стале функціонування, особливу роль відіграє перехід різних сфер господарської діяльності до екологічно безпечних технологій. На сучасному етапі у широкому розумінні це розглядають як здійснення екологічної конверсії виробництва [1].

Отже, лісові екосистеми є природними утвореннями, стан яких відображає вплив великої кількості різноманітних природних і соціальних процесів різного рівня. До числа потужних чинників трансформації лісових екосистем належать зміни клімату. Досягнення сталого розвитку лісового господарства на тлі сучасних різнопланових екологічних викликів потребує реалізації комплексного підходу, де важливими складовими управління мають бути система моніторингових досліджень та здійснення екологічної конверсії виробництва.

Використані інформаційні джерела

1. Злобін, Ю. А., Кочубей Н. В. Загальна екологія. Суми : Університетська книга, 2003. 414 с.
2. Crumpacker, D. W., Vox, E.O., & Hardin, E. D. (2002). Use of plant climatic envelopes to design a monitoring system for early biotic effects of climatic warming. *Fla Sci.*, 65 (3). 159 –184.
3. Heal, O.W. (2001). Potential responses of natural terrestrial ecosystems to Arctic climate change. *Buvisindi*, 14. 3–16.
4. Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., & Rötzer, T. (2014). Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature communications*, 5(1), 4967. DOI:[10.1038/ncomms5967](https://doi.org/10.1038/ncomms5967)
5. Sykes, M.T., & Prentice, I.C. (1996). Climate change, tree species distributions and forest dynamics: A case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change*, 34, 161–177. <https://doi.org/10.1007/BF00224628>
6. Theurillat, J.-P., & Guisan, A. (2001). Potential impact of climate on vegetation in European Alps: A review. *Clim. Change*. 50 (1–2). 77–109. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010632015572>

*Смоляр Н. О., кандидат біологічних наук, доцент,
Бурда А. Ю., здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

МОНІТОРИНГ ДЕЯКИХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОЛОДЯЗЬНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ НА ТЕРИТОРІЇ АДМІНІСТРАТИВНО-НАУКОВОГО ЦЕНТРУ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «НИЖНЬОВОРСКЛЯНСЬКИЙ»

Регіональний ландшафтний парк «Нижньоворсклянський» (далі – парк, РЛП «Нижньоворсклянський») створений для охорони та збереження природних комплексів долини річки Ворскли в її пониззі. Територія парку охоплює заплаву та тераси Ворскли, а також ряду островів та частину акваторії Кам'янського водосховища. На території парку найбільша площа припадає на водні екосистеми (16889,7 га), ліси займають 4608,0 га, а болота – 183,9 га. У парку типовими є байрачні та заплавні діброви, степові ділянки, осокові болота та псамофітні (піщані) і справжні, заболочені та галофітні (на солоних підставах) луки, водно-болотні угіддя та різновікові сосноволісові насадження.

Пониззя Ворскли – природний регіон півдня полтавського краю, що донині зберігся в найменшому пошкодженому стані, хоча його сучасні ландшафтні особливості та рослинний покрив обумовлені створенням Дніпродзержинського (нині – Кам'янського водосховища) й супутніми процесами підтоплення. Історичні фактори, що сприяли формуванню його сучасних геоморфологічних, гідрологічних, ландшафтних особливостей, обумовили значну різноманітність біогеоценозів із багатими рослинними і тваринними світами. Тому створення тут значного за площею заповідного об'єкта – регіонального ландшафтного парку «Нижньоворсклянський» – забезпечує, насамперед, збереження цілісності природних та атропогенно-природних комплексів регіону.

Екологічна цінність РЛП «Нижньоворсклянський» виявляється, насамперед, у його гідрологічних аспектах. Наявність на території парку різноманітних збережених екосистем та значної площі гідروفільних екоотопів забезпечує виконання за відповідним об'єктом багатьом корисним функціям – приуроченість і продуктивність окремих рослин і тварин, запаси деревини, ягід, грибів, формування цінних і продуктивних найкращих угідь. Він є еталонною природною ділянкою пониззя Ворскли, а також історико-культурних цінностей Полтавщини [1].

Глибина залягання ґрунтових вод в долині річки Ворскли коливається в значних межах: на заплаві – до 2,5-3 м, на борівій терасі – від 3,5 до 12 м, на лесовій терасі від 4 до 10 м, на плато – від 22 до 24 м, а в балках, що перерізають плато – 6-7 м [2].

Об'єктом забору ґрунтових вод на центральній частині заплави правого берега річки Ворскли в її пониззі є створений колодязь, вода якого використовується в якості питної для потреб рекреантів на території адміністративно-наукового центру парку – колишнього біостаціонару «Лучки» Полтавського державного педагогічного університету імені В.Г. Короленка.

Нами було проаналізовано деякі фізико-хімічні та санітарнотоксикологічні показники безпечності та якості питної води (табл.1) в цьому колодязі, глибина якого – 4 метри. Період відбору проби – жовтень 2023 року та листопад 2025 року.

За результатами дослідження було виявлене перевищення нормативного значення водневого показника та вмісту сульфат-іонів.

Відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 норма рН для питних вод має бути в межах 6,5–8,5. Згідно з європейським стандартом якості, показник кислотно-лужного балансу питної води в ЄС теж становить 6,5-9,5, однак є примітка, що для вод, які зберігаються у пляшках та контейнерах, його мінімальне значення може бути скорочене до 4,5 одиниць рН. Існує загальноприйнята думка про те, що оптимальне значення рН питної води повинно бути близько 7. Нейтральна вода, збалансована за рН, вважається найбезпечнішою для споживання. Однак, до 2019 року був чинним ГОСТ 2874-82, в якому допустимим і безпечним для споживання був вказаний рівень рН 6,0-9,0. Варто відзначити, що вплив рН питної води на організм людини не є таким критичним, як інші фактори, наприклад, уміст мінералів або забруднень у воді [3].

Сульфати часто зустрічаються в природних водах. Потрапляють вони у воду головним чином при розчиненні осадових порід, до складу яких входить гіпс, а також у результаті забруднення промисловими і господарсько-побутовими стічними водами. Води, які містять велику кількість сульфатів, руйнують бетонні конструкції [4].

Через епізодичний характер відвідування адміністративно-наукового центру РЛП «Нижньоворсклянський» та відсутність у ньому умов для постійного проживання, потенційний несприятливий вплив підвищеної концентрації сульфатів у місцевих ґрунтових водах на здоров'я рекреантів є вкрай низьким.

Таблиця 1 – Санітарно-хімічні показники безпечності та якості колодязної питної води РЛП «Нижньоворсклянський»

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи питної води з колодязів	Результат дослідження за жовтень 2023 р.	Примітка	Результат дослідження за листопад 2025 р.	Примітка
Фізико-хімічні показники							
1	Водневий показник	Одиниці рН	6,5-8,5	7,84	в межах норми	8,6	перевищення норми
2	Загальна жорсткість	ммоль/л	≤ 10	3,1	в межах норми	6,0	в межах норми
3	Загальна лужність	ммоль/л	не визначається	5,1	див. табл. 2	4,0	див. табл. 2
4	Кальцій	мг/л	не визначається	50,1	див. табл. 2	43,4	див. табл. 2
5	Магній	мг/л	не визначається	44,98	див. табл. 2	46,0	див. табл. 2
6	Сульфати	мг/л	≤ 500	624,39	перевищення норми	575,0	перевищення норми
7	Хлориди	мг/л	≤ 350	6,27	в межах норми	41,1	в межах норми
Санітарно-токсикологічні показники							
8	Амоній	мг/л	≤ 2,6	нчм*	в межах норми	0,49	в межах норми
9	Нітрати (за NO ₃)	мг/л	≤ 50	нчм*	в межах норми	5,04	в межах норми

*нчм – нижче чутливості методики (малі концентрації показника)

Враховуючи відсутність нормативних вимог до вмісту кальцію, магнію та показника лужності у питній воді колодязів, визначених Додатком №1 [5], було проведено додаткове дослідження згідно з Додатком №2. Отримані результати засвідчили, що дані показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води відповідають встановленим нормативам (табл.2).

Таблиця 2 – Показники фізіологічної повноцінності мінерального складу колодязної питної води РЛП «Нижньоворсклянський»

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормати ви питної води	Результат дослідження за жовтень 2023 р.	Примітка	Результат дослідження за листопад 2025 р.	Примітка
1	Загальна жорсткість	ммоль/дм ³	1,5- 7,0	3,1	в межах норми	6,0	в межах норми
2	Загальна лужність	ммоль/дм ³	0,5- 6,5	5,1	в межах норми	4,0	в межах норми
3	Кальцій	мг/дм ³	25-75	50,1	в межах норми	43,4	в межах норми
4	Магній	мг/дм ³	10-50	44,98	в межах норми	46,0	в межах норми

Отже, колодязна вода РЛП «Нижньоворсклянський» за більшістю показників відповідає нормативам та має фізіологічно повноцінний мінеральний склад. Основними відхиленнями є підвищений вміст сульфатів у 2023 та 2025 роках і незначне перевищення показника рН у 2025 році. Рекомендується продовжувати регулярний моніторинг цих параметрів та оцінювати можливі джерела підвищення сульфатів.

Використані інформаційні джерела

1. Державна екологічна інспекція Центрального округу/ РЛП «Нижньоворсклянський». URL: <https://centrreg.dei.gov.ua/post/217>
2. Білосільська Г. А. Південна Лісостепова область Полтавської рівнини. У кн. : *Фізико-географічне районування Української РСР*. К., 1968. С.330–339.
3. Телегуз О., Медвідь Г., Гарасимчук В., Сахнюк І., Майкут О., Кальмук С., Дацюк О. Еколого-геохімічна характеристика ґрунтових вод в межах долинського і битківського нафтогазопромислових районів. Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи : матеріали, 2025. С. 280.
4. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Стельмах В. Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення : навч. посібник. К. : ДІА, 2023. С. 102.
5. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної до споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4– 171 – 10). Затверджені наказом МОЗ України від 12.05.2010 № 400, зареєстровано Мін'юстом України наказом від 01.07.2010 за № 452/17747.

Смоляр Н. О., кандидат біологічних наук, доцент,
Левицька А. С., здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

НОВІ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ *ASTRAGALUS DASYANTHUS* PALL. НА ПОЛТАВЩИНІ (УКРАЇНА)

Astragalus dasyanthus Pall. – це науково цінний балкансько-понтичний диз'юнктивно-ареальний вид, що включений до Червоної книги України з природоохоронним статусом виду «вразливий» [5] та Європейського Червоного списку.

Даний вид поширений у Східній та Південній Європі. На території України *A. dasyanthus* зростає у Лісостепу та Степу. Відомий у 14 областях (Київській, Сумській, Черкаській, Кіровоградській, Дніпропетровській, Херсонській, Донецькій, Луганській, Одеській, Миколаївській, Харківській, Запорізькій та інших). На території Полтавщини вид також зустрічається на степових схилах, переважно балкових систем та долин річок Псла, Хоролу, Ворскли, Сули [1].

Кожне місцезнаходження *A. dasyanthus* потребує детального вивчення та охорони, адже через антропогенний вплив (розорювання, перевипасання худоби, випалювання) зникає.

A. dasyanthus – це представник родини бобових *Fabaceae*, є багаторічною опушеною рослиною. Висота особин виду сягає 10-30 см. Стебло галузисте з непарноперистими довгими листками, густо опушене м'якими волосками. Квітки зібрані у щільні головчасті волосисті суцвіття яскраво-жовтого кольору. Плід – біб, до 1 см завдовжки, волохатий, яйцеподібний. Цвітіння рослин відбувається у червні-серпні, а плодоношення – у липні-серпні. *A. dasyanthus* є гемікриптофітом, у якого на час несприятливих умов бруньки відновлення перебувають близько до поверхні ґрунту, й тому є захищеними [1].

На Полтавщині даний вид охороняється в 11 об'єктах природно-заповідного фонду (у заказниках «Балка Долина», «Глибочанський», «Манжеліївський», «Новодиканський», «Рожаївський», «Лучківський», «Олегова балка», «Весело-Мирське», пам'ятках природи «Заїченські схили», заповідних урочищах «Келебердянське», «Мужева долина») [1].

Навесні та влітку 2025 року нами під час фітосозологічних досліджень на території Кременчуцького району Полтавської області між селом Підгірне та ландшафтним заказником місцевого значення «Балка Широка» виявлено три нових місцезнаходження *A. dasyanthus*. Всі вони

виявлені на степових схилах, що зайняті лучно-степовою рослинністю. Перший локалітет – це територія, що розташована у західному напрямі від заказника на відстані 200 м (площа ценопопуляції – 1,0 га). Другий локалітет – територія у північно-західному напрямі від заказника на відстані 800 м (площа ценопопуляції – 0,5 га). На цих ділянках нами виявлено *A. dasyanthus* навесні 2025 року. Тоді особини були у підсохлому стані (рис.1). На момент дослідження ми виявили по дві рослини на кожній із цих ділянок.



Рисунок 1 – *Astragalus dasyanthus* Pall. навесні 2025 року

Третій локалітет – територія між селом та заказником (ближче до села) у північно-західному напрямі від заказника (площа ценопопуляції – 10,0 га). На цій ділянці ми виявили *A. dasyanthus* під час дослідження фіторізноманіття влітку 2025 року (рис.2). Щільність ценопопуляцій складала за підрахунками близько двох особин на 1 м², тоді особини плодоносили, були у доброму стані та не пошкоджені.



Рисунок 2 – *Astragalus dasyanthus* Pall. влітку 2025 року

Основне флористичне ядро фітоценозів степових ділянок із місцезнаходженнями *A. dasyanthus* формують: *Poa angustifolia* L., *Elytrigia intermedia* (Host.) Nevski, *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Bromus inermis* Leyss., *Trifolium pratense* L., *Salvia nemorosa* L., *Centaurea adpressa* L., *Plantago lanceolata* L., *P. media* L., *P. stepposa* L., *Achillea submillefolium* Klokov & Krytzka, *Nonea pulla* (L.), DC., *Medicago romanica* Prodan, *Verbascum phoeniceum* L., *Fragaria viridis* Duch., *Ranunculus polyanthemos* L., *Thymus marschallianus* Willd., *Verbascum phoeniceum* L., *Falcaria vulgaris* L., *Oryganum vulgare* L., *Euphorbia stepposa* Zoz ex Prokh. та ін. Неподалік даного місцезнаходження у 2024-2025 роках також було виявлено й ряд інших созофітів: *Muscari neglectum* Guss. ex Ten., *Iris pumila* L., *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill.s.1 [2], *Crocus reticulatus* Steven ex Adam. [3], *Stipa pulcherrima* K.Koch, *Scilla siberia* Haw., *S. bifolia* L., *Hyacinthella leucophaea* (K.Koch) Schur [4]. Дані території представлені характерними для південного Лівобережного Лісостепу біотопами лучного степу, у яких збереглося притаманне степам флористичне ядро. Вони виконують роль важливого біоцентру, що забезпечує збереження як рідкісного, так і типового лучно-степового рослинного різноманіття. Крім того, ці три ділянки є значущим осередком охорони генофонду рідкісних видів флори, серед яких і *A. dasyanthus*. Через рідкісність та наукову й природоохоронну цінність даного виду та враховуючи незахищеність виявлених його нових місцезнаходжень, які знаходяться поблизу існуючого ландшафтного заказника місцевого значення «Балка Широка», розглядаємо можливість приєднання цих трьох ділянок до нього з метою їх збереження й охорони та підвищення показників його флористичної унікальності.

Використані інформаційні джерела

1. Байрак О. М., Стецюк Н. О. Атлас рідкісних і зникаючих рослин Полтавщини. Наукове видання. Полтава : Верстка, 2005. С. 90.
2. Смоляр Н. О., Левицька А. С. Концепція розвитку ландшафтного заказника «Балка Широка» (Кременчуцький район, Полтавська область, Україна). Відновлення екосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій: Українські та європейські виклики : тези доповідей міжнарод. наук.-теор. та прикл. конф., 06 листопада 2024 р., м. Київ. К. : НАУ, 2024. С. 97.
3. Смоляр Н. О., Левицька А. С. Нові місцезнаходження *Crocus reticulatus* на Полтавщині (Україна). Екологічна безпека держави : тези доповідей XIX всеукр. наук.-пр. конф. молодих учених та студентів, 17 квітня 2025 р., м. Київ. К. : НАУ, 2025. С. 65.
4. Смоляр Н. О., Левицька А. С. Флоросоцологічна характеристика ландшафтного заказника «Балка Широка» (Полтавська область) та прилеглих до нього територій за даними екологічного моніторингу. Проблеми екології та енергозбереження : матеріали XVI міжнарод. наук.-теор. конф., 23-24 жовтня 2025 р., м. Миколаїв : НУК, 2025. С. 179.

*Степова О. В., доктор технічних наук, професор,
Степовий Є. Б., аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ІНТЕГРАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У НАФТОВОМУ СЕКТОРІ

Екологічна безпека нафтопроводів базується на їх безаварійному функціонуванні без нанесення шкоди довкіллю. Вона тісно переплітається з поняттям екологічного ризику – як ймовірності негативних наслідків. Саме екологічний ризик відображає реальну небезпеку – можливість виникнення небажаних подій [1-3].

Функціональна особливість екологічного ризику полягає в його здатності проявлятися на всіх етапах експлуатації нафтопроводу – від введення в дію до виведення з експлуатації. Він враховує ймовірність порушення стабільного стану довкілля через зовнішні або внутрішні чинники. Ступінь ризику характеризує не лише ймовірність, але й масштаби потенційної шкоди – для природи та здоров'я населення, а також ресурси, необхідні для відновлення екосистеми. До критеріїв належать як матеріальні, так і людські аспекти [3].

Для прогнозування ризиків часто використовуються об'єктивні фактори: витрата нафти, обсяг витікання, площа забруднення. Обсяг розливу обчислюється як добуток витрати ($\text{м}^3/\text{год}$) на тривалість витікання [4]. Витрата залежить від таких показників, як коефіцієнт витрати, площа отвору й тиск у точці витікання. Це узгоджується з методами, затвердженими нормативними органами, що враховують час виявлення, час відключення, гідростатичний тиск, силу тертя та інші чинники [5, 6].

Сучасні методи аналізу ризиків включають: кількісні системи оцінювання (на основі нечіткої логіки або теорії набору пар), що дають чітке уявлення про рівень небезпеки та дозволяють приймати рішення для управління ризиком; моделі OSRA (Oil Spill Risk Analysis), які оцінюють ймовірність катастрофічного розливу (понад 1 млн барелів) і застосовують екстремальні статистичні методи для точнішого прогнозування; комбіновані підходи (event tree, bow-tie, Bayesian networks), що будують логіку причинно-наслідкових зв'язків та інтегрують їх у систему управління; використання GIS і машинного навчання для створення передбачувальних моделей ризиків.

Реальні приклади аварій підтверджують значущість превентивних заходів. Так, у 2023 році аварія на підводному трубопроводі спричинила збитки понад \$30 млн. через затримку реакції на сигнали тривоги. Витік бітуму в річку Каламазу (США, 2010 рік) перевищив 1 млн. галонів, а очищення тривало кілька років, вартість – понад \$1 млрд.

Представлена інфографіка (рис. 1) відображає основні фактори, що визначають рівень екологічного ризику магістральних нафтопроводів. Найбільш значний вплив мають технічні несправності та корозія трубопроводів, які можуть призвести до масштабних розливів нафти та забруднення ґрунтів і водних об'єктів. Механічні пошкодження та зношеність обладнання також створюють серйозні загрози, особливо за відсутності належного технічного обслуговування. Помилки персоналу, природні явища (зсуви, землетруси) та цілеспрямовані диверсійні дії хоча й мають нижчий відносний рівень впливу, але у разі їх виникнення можуть спричинити масштабні аварії. Оцінка таких факторів дозволяє визначити пріоритетні напрями модернізації та заходи з підвищення екологічної безпеки нафтотранспортної інфраструктури.

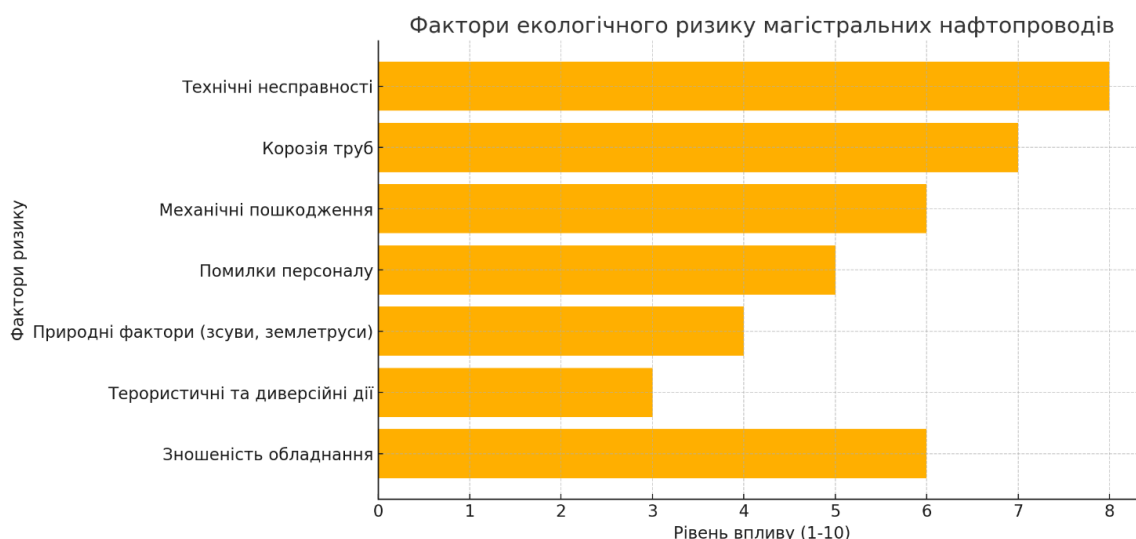


Рисунок 1 – Фактори екологічного ризику магістральних нафтопроводів

Таким чином, системний підхід до оцінки та прогнозування екологічних ризиків магістральних нафтопроводів є ключовим інструментом зменшення екологічної небезпеки та забезпечення стабільного функціонування цієї критично важливої інфраструктури.

Екологічний ризик виступає ключовим показником, що відображає собою глибинну природу екологічної небезпеки – тобто ймовірність настання небажаних подій [5, 6]. Його особливість полягає у здатності проявлятися протягом усього функціонального циклу системи – від запуску до завершення її експлуатації. У статті пропонується методологія

декомпозиції та наступного синтезу системи «нафтова галузь» для комплексної оцінки екологічних ризиків. Для цього важливо аналізувати всі операційні напрями – геологорозвідка, буріння, видобуток, підготовка, транспортування, зберігання й переробка – і враховувати їхню взаємодію з довкіллям. Такі завдання доцільно вирішувати через застосування методів системного аналізу, які розглядають нафтогалузь як сукупність підсистем, кожна з яких є самостійно складною системою. Це дозволяє детально декомпонувати інфраструктуру та синтезувати загальну модель, класифікувати екотоксичні впливи на окремі ланки виробничого ланцюга, а також оцінити їхній вплив на здоров'я населення й стан природного середовища.

Ще один важливий напрям – аналіз зворотного впливу довкілля, коли зовнішні природні фактори (наприклад, кліматичні та геофізичні умови) впливають на технологічні процеси видобутку, транспорту, зберігання та переробки нафти. Крім того, нафтогалузь може бути формалізована як мережева структура у вигляді графа: вузлами є технологічні об'єкти і промислові точки, а ребрами – трубопроводи (існуючі й перспективні), що створює зручний аналітичний інструментарій для моделювання потоків та ризиків.

Основою графа є нафтотранспортна система України. В рамках розв'язання задачі оцінювання ризиків було розроблено комплексну схему, що охоплює 30 дуг та 29 вузлів. Така структура дозволяє комплексно аналізувати взаємозв'язки між об'єктами та виявляти потенційні ризики в системі транспортування та переробки нафти.

Із точки зору оцінки взаємодії в системі «нафтова промисловість – навколишнє середовище» в масштабі всієї країни необхідно розглянути вплив усіх перерахованих підсистем на навколишнє середовище і її зворотний вплив. Однак деякі з цих підсистем не належать до об'єктів нафтової галузі. В рамках даної роботи досліджено такі підсистеми: геологорозвідування запасів нафти, нафтовидобування, транспортування.

Серед найбільш значущих можна виділити наступні ризики: ризики, обумовлені інженерно-екологічним забезпеченням розвідувальних робіт (порушення ґрунтів при будівництві доріг, супроводжуване процесами ерозії, термокарста і ін.) та ризики, обумовлені проведенням самих бурових робіт (використання бурових розчинів, прокачування свердловин, збір газоконденсату і нафти в відповідних коморах та ін.).

На цьому ж етапі можна відзначити і геоекологічні ризики самих геологорозвідувальних робіт, які, хоча і будуть відрізнятися залежно від природних умов, але мають і ряд спільних рис. Окрім цього, проведення таких робіт повинно бути повністю безвідходним. Це має на увазі повне видалення відходів та їх утилізацію в спеціально обладнаних місцях.

Елементи підсистеми, що пов'язані з бурінням і спорудженням свердловин, промисловими й господарсько-побутовими об'єктами

характеризуються точковою взаємодією з навколишнім середовищем, а промислові і міжпромислові трубопроводи, під'їзні дороги – відповідно, лінійним. У той же час взаємодія з навколишнім середовищем на рівні всього родовища є розосередженим і для оцінки його кількісних параметрів на етапі синтезу підсистеми необхідно використовувати моделі інтерференції.

Подача нафти споживачам здійснюється як правило трубопровідним, водним або залізнодорожним транспортом. Більш частина нафти транспортується нафтопроводами.

Аналіз можливих техногенних та екологічних ризиків доцільно розглядати окремо на етапах спорудження трубопроводів та їх експлуатації.

Елементи підсистеми, позначені як нафтоперекачувальні станції, промислові та господарсько-побутові об'єкти визначають точковий вплив на навколишнє середовище, а лінійна частина нафтопроводів і під'їзні дороги – відповідно, лінійне.

Для моделювання впливу об'єктів транспорту нафти на стан навколишнього середовища необхідно виділяти їх на етапі спорудження нафтопроводів та на етапі експлуатації нафтопроводів.

Далі, необхідно розглянути і зворотний вплив геоекологічних факторів на стан НТС із тим, щоб враховувати відповідні екологічні ризики. Серед цих ризиків можуть бути названі такі:

– розгерметизація нафтопроводів через корозійні процеси за рахунок агресивного фізико-хімічного і біологічного середовища;

– розриви трубопроводів при деформаціях ґрунтів різної природи (зсуви, термокарст, просідання, поверхнева ерозія, водні розмиви та ін.).

У представленій роботі обґрунтовано доцільність використання методів системного аналізу для оцінювання екологічних ризиків у нафтовій галузі. Застосування принципу декомпозиції дозволило виокремити відповідні підсистеми та здійснити комплексне моделювання взаємозв'язку між нафтовою промисловістю та навколишнім середовищем. Особливу увагу приділено етапу синтезу системи, який охоплює аналіз впливу сукупності виробничих чинників на довкілля, а також зворотного впливу екологічних факторів на технологічні процеси в галузі. Для однієї з підсистем проведено оцінку ймовірності виникнення техногенно-екологічного ризику, зумовленого розвитком корозійних процесів на сталевих нафтопроводах. У результаті розрахунків встановлено, що середнє значення цього ризику становить одну аварійну ситуацію кожні 10 місяців.

Використані інформаційні джерела

1. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. В 5-ти книгах / С. Г. Плачкова, І. В. Плачков, Н. І. Дунаєвська та ін. <http://energetika.in.ua/>

2. Андрейцев В. І. Екологічний ризик в системі правовідносин екологічної безпеки: проблеми практичної теорії. *Право України*. 1999. № 1. С. 62–69.

3. Ярчак В. Про екологічний ризик джерел підвищеної екологічної небезпеки. *Вісник Львів. ун-ту. Серія юрид.* 2009. Вип. 48. С. 209–215.

4. Бабаджанова О. Ф., Павлюк Ю. Е., Сукач Ю. Г. Пожежонебезпечні аварійні виливи нафти з лінійної частини магістрального нафтопроводу. *Пожежна безпека* : Зб. наук. праць. Львів, 2010. №16. С.84–91.

5. Aorui Bi, Shuya Huang and Xinguo Sun Risk Assessment of Oil and Gas Pipeline Based on Vague Set-Weighted Set Pair Analysis Method. *Mathematics* 2023, 11(2), 349.

6. Zhen-Gang Ji, Zhen Li, Walter Johnson and Guillermo Auad Progress of the Oil Spill Risk Analysis (OSRA) Model and Its Applications *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9 (2), 195.

*Степова О. В., доктор технічних наук, професор,
Тягній Л. М., аспірантка*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЗНИМИ БІОІНДИКАЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ РІЧКИ ВОРСКЛИ В МЕЖАХ МІСТА ПОЛТАВИ

Визначено екологічний стан різними біоіндикаційними методами, шляхом спостереження за реакцією природної біоти від скиду стічних вод в річку Ворскла в межах міста Полтави. Перед початком проаналізовано розроблені та впроваджені національні стандарти, норми в Україні та в ЄС. В першому біоіндикаційному способі використанні інтегральні кількісні показники окислювальної сапробності зообентосу річки Ворскла, у другому – альгоіндикація.

Метою дослідження є визначення екологічного стану від скиду стічних вод в річку Ворскла в межах міста Полтави використовуючи різні сучасні методи з біоіндикації.

Основною проблемою в Україні залишається відсутність нових методів екологічного моніторингу за допомогою яких охарактеризується екологічний стан, що передбачено відповідно до прийнятої Європейським Союзом Рамкової водної директиви 2000/60/ЄС. Після отримання нашої країни статусу афілійованого члена CEN-CENELEC, що діє з 1 січня 2023 року, якій надається всім національним організаціям зі стандартизації та визначено офіційним кандидатом або потенційним кандидатом на членство в ЄС, тому потребує виправлення у всіх розбіжностях між національними стандартами України та стандартами ЄС (EN ISO) [1-4].

Останнім часом в Україні відбувся розвиток промисловості та відбувається зростання чисельності населення в містах та в областях, тому надходить великий об'єм недостатнього очищених господарсько-побутових стічних вод Існуюча в система централізованого водопостачання з використанням водних джерел у вигляді річок, водосховищ та підземних запасів прісної води має ряд істотних недоліків, що відбиваються на якості особливо питної води, що впливає на здоров'я людей, особливо малозабезпечених, оскільки вони не мають можливості доводити в домашніх умовах якість води до необхідного рівня для здорового харчування.

Перед початком визначення екологічного стану зроблений гідробіологічний аналіз ріки Ворскли, який складається зі дослідження

зообентосу водойми [7-12]. Відбір проб проводили в липні 2023 року, в самому кінці вегетаційного періоду, на ділянках в верхівці, середній та прибережній частині ріки з глибини до 0,5 метра.

Всього було відібрано та проаналізовано чотири проби зообентосу: перша проба з верхньої ділянки, друга з середньої а дві інші – в прибережній частині річки Ворскли.

Досліджуючи за біоіндикаційним способом за допомогою коловерток за 6 – ступінчастою шкалою частоти відносної кількості виду (табл. 1) за формулою Pante-Buck (1) визначено, що відсоток видів коловерток високий в річці Ворскла, та відноситься до β-мезосапробних організмів [7, 8].

$$S = \frac{\sum(s \cdot h)}{\sum h} \quad (1)$$

де: h – знаходиться по 6-ступінчастій шкалі та визначає відносну кількість виду (табл. 1.)

Таблиця 1 – 6-ступінчаста шкала частоти відносної кількості виду

Частота поширення виду	Кількість одного виду залежно, від відсотків загального виду	h
Дуже рідко	<1	1
Рідко	2-10	2
Досить часто	10-40	3
Часто	40-60	5
Дуже часто	60-80	7
Максимально	80-100	9

Відповідно до отриманих результатів за індексом сапробності річка Ворскла належить до β – мезосапробної, де S 1,51 – 2,50 (вода помірного забруднення).

Досліджуючи за допомогою альгоіндикації річку Ворскла визначено, що вища водна рослинність здатна поглинати та накопичувати мінеральні елементи, що надходять у водоток зі стоком із очисних станцій та природним шляхом, й з інших площ водозбору.

Проаналізовано види водної рослинності річки Ворскла в межах міста Полтава. Досліджено, що цим рослинам властива вибіркова здатність у поглинанні N, P, K та інших елементів. Найбільша інтенсивність поглинання макрофітами мінеральних речовин спостерігається в період розвитку та посиленого зростання. Найбільш активно поглинаються та використовуються рослинами N, P, K, Fe, Cl та Mn.

N і P акумулюються майже всіма рослинами в однаковій кількості (табл. 2). Інші біогени поглинаються і акумулюються в різних кількостях [5-12].

Таблиця 2 – Накопичення деяких біогенних елементів вищими водними рослинами, % на суху речовину

Об'єкт дослідження	Елементи	
	N	P
Рогіз вузьколистий	2,52	0,41
Очерет звичайний	2,34	0,39
Сусак зонтичний	2,66	0,40
Рдест пронизвнолистий	2,02	0,53

Наприклад, очерет звичайний, при врожаї 44 т/га по сухій речовині може вилучити з води N – 667 кг/га, P – 276 кг/га, K – 419 кг/га, Cl – 408 кг/га та Ca – 198 кг/га. Рогіз вузьколистий вилучає менше N, P та Cl, але Ca і особливо натрію він вилучає в 2-3 рази більше, ніж очерет [5-12].

Рогози є біофільтрами для очищення побутових та промислових стоків. Крім задовільного осадження органічних суспензій зі стічних вод, рогіз широколистий переважно акумулює з них N та Na [5-12].

Великі макрофіти здатні витягувати з води у великих кількостях біогенні елементи і цим запобігати та знижувати ступінь евтрофування водойми.

Вищі водні рослини, у тому числі рогози, споживаючи розчинені мінеральні речовини, виконують функцію демінералізації. Встановлено, що масовий розвиток в річці Ворскла в межах міста Полтави геофітів – очерету звичайного (*Phragmites australis*); рогозу широколистого (*Typha latifolia*), рогозу вузьколистого (*Typha angustifolia*); сусаку зонтичного (*Butomus umbelatus*) може бути причиною надлишком надходження біогенних елементів, та крім того, стаючи причиною вторинного забруднення водойми. Розкладання відмерлих водних рослинних залишків потребує значного розчинного кисню в воді, та може викликати замор біоти з часом.

Рекомендовано збільшити посадку в Ворсклі гідрофітів, гігрофітів, наприклад: водяння жовтого, елодеї, валіснерії, водопериці, ряски, водяної лілії. Зміцнення берегів за допомогою макрофітів є найбільш простим та економічним способом очистки від біогенних елементів, але призводить до випаровування води рослинами рогозу вузьколистого. Також негативною здатністю є збільшення кількості мулу, що за певних умов призводить до загнивання рогозового опаду на біотопах, які заболочуються.

Використанні інформаційні джерела

1. Водна Рамкова Директива 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 8 с.

2. ДСТУ 7525 : 2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Наказ від 23.10.2014 № 1257. Розробник: Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського НАН України (ІКХХВ НАН України).
3. EN ISO 5667-3 : 2022 Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Зберігання та оброблення проб води (EN ISO 5667 – 3 : 2018, IDT; ISO 5667 – 3 : 2018, IDT)
4. EN ISO 10870 : 2012 Якість води. Рекомендації щодо вибору методів і пристроїв для відбору проб бентосних макробезхребетних у прісних водах. ISO 10870 : 2012.
5. Дідух Я. П. Основи біоіндикації : Монографія. Київ : Наукова думка, 2012. 344 с.
6. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: Основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування : Монографія. К. : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с. ISBN 978-966-306-176-3
7. Степова О. В., Тягній Л. М. Комплексна оцінка біоекологічної системи річки Ворскла на основі діагностики біоіндикаторів. *Тези 76-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету* (Полтава, 14 травня – 23 травня 2024 р.). Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2024. Т. 1. С. 332–333.
8. Степова О. В., Тягній Л. М. Оцінка альгоіндикаційним методом впливу біогенних елементів в річці Ворскла. *Журнал Екологічні науки*. № 61. 2025. С. 162–167.
9. Ключенко П. Д., Митківська Т. І. Фітопланктон приток верхнього Дніпра. *Укр. ботан. журнал*. № 50, 1993. С. 69–79.
10. Lumbsch, T.H. and Huhndorf, S.M. Outline of Ascomycota – 2007. *Myconet, The Field Museum, Department of Botany*. Chicago. 2007. P. 1–58.
11. Körting W. Abwasserschäden am Fisch. *Münch. Beitr. Abwasser Fisch und Flussbiol*. 1972. P. 82–87.
12. Chu S. P. The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae. *Part I. Methods and culture media J. Ecol*. 1942. Vol. 30, P. 284–325.

*Шарий Г. І., доктор економічних наук, професор,
Шара С. Ю., аспірантка*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

СТАЛИЙ РОЗВИТОК – ГЕОПОЛІТИЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ

Екологічні проблеми на землі набувають планетарного масштабу, посилені діями країн, військова агресія яких переростає в екоцид планетарного масштабу, а антропогенний вплив (слід людини) перевищує несучу і відновлювану здатність екосистем планети, як спроможність стало надавати екологічні послуги.

Антропогенне навантаження на екосистему планети перевищує в два рази несучу відновлювальну здатність локальних екосистем та поглиблює негативні кризові екологічні явища.

Сьогодні проходить шосте вимирання голоцену, що розпочалося 12,5 тис. років тому з початком завершення льодовикового періоду, коли за останні 500 років вимерло 90 видів тварин.

Біосфера планети за половинний час існування Землі зіграла унікально визначну роль у розвитку геологічних процесів, а за останні 500 тис. років еволюції людства, на планеті сформувалась унікальна ноосфера, з якісно іншими характеристиками розвитку.

Вчені світу опираючись на еко-філософське світосприйняття та вчення Володимира Вернадського в пошуку екологічних і економічних теорій, які б указали цивілізаційні тренди і моделі поведінки сталого розвитку і досягнення цілей, довели, що нам необхідно перебороти міфи біонічного світу, що утверджують, що людство все владнає і вирішить екологічні проблеми. Цікава теорія екологічного сліду, Вільяма Ріса (Канада), де розглядається земля, як одиниця виміру, а всі види споживання ресурсів – екологічний слід населення, наприклад слід жителів США на планеті 5,1 га на 1 жителя, вказує, що людству потрібно, ще дві планети.

Німецька стратегія сталого розвитку, визначає ЦСР, енергетичний перехід, кліматичну нейтральність (до 2045 року – 100 %), раціональне споживання ресурсів, циркулярну економіку, сприяння сталому споживанню, зелений пакт ЄС (до 2050 року), відповідальну енергетику, сталу мобільність та головне соціальну рівність.

Управлінські правила державних служб Німеччини опираються на принципи: рівноправність поколінь; висока якість життя; соціальна

рівність і єдність; міжнародна відповідальність. Уряд країни також пропагує і підтримує фіскальну сталість, сталу господарську діяльність, низьку енергоємність економіки (довівши до 0,105 кг нафтового еквівалента на 1 тис. \$ВВП (Україна 0,367). Закордонний досвід указує на розвиток природно-заповідних територій Європи, якими, наприклад у Польщі, охоплено 55% території країни (в Україні 6,8%).

Найбільший ліс у Франції в регіоні Аквітанія, займає площі біля 1 млн. га, а в Україні – Черкаський бір – 28,5 тис. га, Олешківський ліс (Херсон) 100 тис.га, але в Україні приватних лісів лише 0,1% до загальної кількості.

Економіка світу визначає одним із трендів – екологізацію поселень: у Японії побудовано – екомісто Фудзісіва, будується екомісто під Парижем, Китай буде 285 екоміст. Самосвідомість населення в Японії дозволяє, ставлячи найвище інтерес нації і дотримуючись філософії «моттайнай» мати нульові побутові відходи і доводити поділ побутових відходів у родині на 34 категорії сміття.

Інституціонально, цілі сталого розвитку повністю сповідують і інституційно оформили 10 країн Європи, які сформували інституційне поле (правове), та інвайро-ментальну економічну систему – це Фінляндія, Швеція, Данія, Норвегія, а також Німеччина, Австрія, Чехія, Франція, Польща і Естонія. Прикладами, є щорічна Німецька оцінка сталості, закони дотримання сталого розвитку Швеції, аудит законів до ЦСР у Нідерландах.

Фінансова сталість України повинна забезпечуватись справедливою рентою за використання і споживання природньоресурсного потенціалу з боку юридичних і фізичних осіб на користь власника народу України у вигляді податків, рентних та екологічних платежів, забезпечуючи формування інвайро-ментальної економічної системи.

У країнах ЄС податки за використання орних земель, що стимулюють фермерів, найнижчі в Німеччині до 20,0 євро в рік за 1 га. В Україні на орних площах, податки становлять від 400 до 1200 грн. за 1 га у рік, і це при тому, що НГО, як базис оподаткування сільськогосподарських земель складає від 30 до 60 тис. грн. за 1 гектар, і знижена по реальній ринковій капіталізації у 3-4 рази. В Україні формуються занижені рентні платежі за водокористування, 1,6 грн. за 1 м³, що також у набагато нижче водної ренти у Європі, яка складає до 0,5 євро за 1 м³. У 2-3 рази нижче проти країн ЄС і плата в Україні за спеціальне лісокористування. Навіть податок «на дощ» у Німеччині складає до 2,5 євро за 1 м² площі водозбору (за очистку стічних вод).

В Україні податки від землі, не повертаються до землі, на невіддільні поліпшення і меліорацію, від водокористування не повертаються до води, на ревіталізацію водних об'єктів, очисних споруд і водогонів, від вирубки

лісів не надходить у повному обсязі на цілі лісовідновлення і лісомеліорації.

Указане визначає необхідність зміни курсу внутрішньої економічної політики України, особливо, щодо прикордонних і прифронтових громад.

Справедливе рентне оподаткування споживання природних ресурсів та їх цільове використання забезпечить екологічну рівновагу і фінансову сталість, розвитку народногосподарського комплексу України, сприятиме нарощуванню і ревіталізації природньо-ландшафтного потенціалу територій, особливо прикордонних і прифронтових.

Використані інформаційні джерела

1. Мала гірнича енциклопедія: у 3т. ; за ред. В. С.Білецького. Д. : Донбас, 2004. Т.1: А.-К. 640 с. – ISBN – 966-7804-14-3.

2. Саранчук В. І., Льяшов М. О., Ошовський В. В., Білецький В. С. Хімія і фізика горючих копалин. Донецьк : Східний видавничий дім, 2008. 600 с. ISBN – 978-966-317.024.4

3. Dafy H. Farley J. Ecological Economics: Principles and Applications. Washington: Island Press, 2004.

4. Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського. К. : Фенікс. 2012. 658 с. ISBN 978.966-651-892-0.

5. Шарий Г. І. (2024). Екофілософія Семена Антонця, щодо органічного землеробства, як методу нетрадиційного землекористування. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, 1, С. 82–91
<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.07>

6. Шарий Г. І., Щепак В. В., Одарюк Т. С. Організація та еколого-економічні особливості органічного вуглецевого землеробства на землях сільськогосподарського призначення. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, №213 (2025) <https://doi.029/10.18664/1994-7852.213.2025.342010>

7. Шарий Г. І., Ткаченко І. В., Одарюк Т. С. (2025) Консолідація – один із головних актуалітетів розвитку відносин на землях сільськогосподарського призначення в Україні. *Комунальне господарство міст*, 3 (191), 2025. С. 431–439.

8. Sharyi, G., Odaryuk, T., & Shara, S. (2024). Еволюція розвитку лісомеліоративного землекористування та відновлення пожегозахисних лісових смуг у громадах. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 30. С. 145–153. Retrieved, <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/2777>

9. Шарий Г., Угненко Є., Шара С., Сорочун Н. Інвайро-ментальні економічна система – базис сталого просторового розвитку. *Збірник наукових праць УДУЗТ*, Харків : Укр.ДУЗТ (2025). Вип. 212.

Ютіш О. В., аспірант, Магась Н. І., кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПУ «ЗАБРУДНЮВАЧ ПЛАТИТЬ» ЧЕРЕЗ МЕХАНІЗМИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРАХУВАННЯ

Одним із ключових принципів сучасної екологічної політики є принцип «забруднювач платить», відповідно до якого витрати на запобігання, усунення та компенсацію шкоди довкіллю мають покладатися на суб'єктів господарювання, діяльність яких спричиняє або може спричинити негативний вплив на навколишнє середовище. Актуальність реалізації цього принципу зростає в умовах підвищеного техногенного навантаження на водні та ґрунтові ресурси, а також з огляду на обмежені фінансові можливості державних бюджетів щодо ліквідації наслідків екологічних аварій. За відсутності фінансових гарантій екологічної відповідальності існує ризик неплатоспроможності забруднювача, що унеможливорює повне відшкодування завданої шкоди та знижує ефективність екологічного регулювання.

Метою дослідження є обґрунтування ролі екологічного страхування як інструменту реалізації принципу «забруднювач платить» у системі управління ризиками забруднення водних та ґрунтових ресурсів із урахуванням європейського досвіду та національних особливостей.

У процесі дослідження використано нормативно-правові акти Європейського Союзу та України, зокрема Директиву 2004/35/ЄС про екологічну відповідальність, міжнародні документи ОЕСР і ООН [1–3], а також результати порівняльного аналізу національних моделей екологічного страхування в окремих країнах ЄС (Іспанія, Польща, Угорщина). Методологічну основу становили аналіз і синтез, порівняльно-правовий та системний підходи.

Отримані результати дослідження свідчать, що екологічне страхування є ефективним фінансово-економічним механізмом практичної реалізації принципу «забруднювач платить», що забезпечує перерозподіл ризиків між суб'єктами господарювання та страховими організаціями. Підприємства, діяльність яких пов'язана з ризиком забруднення вод і ґрунтів, сплачують страхові внески, формуючи резерви для покриття збитків, що можуть виникнути у результаті аварій, витоків або порушення технологічних процесів.

Європейська модель екологічної відповідальності ґрунтується на поєднанні правових зобов'язань оператора з використанням фінансових

гарантій, які в окремих державах-членах набувають обов'язкового характеру, а в інших – стимулюються державою через відповідну політику та регулювання. Нормативним підґрунтям такої моделі є Директива 2004/35/ЄС «Про екологічну відповідальність за запобігання та усунення шкоди довкіллю», яка встановлює правові основи притягнення операторів до відповідальності за завдану шкоду водним об'єктам, ґрунтам і біорізноманіттю. Якщо після екологічної аварії забруднювач не матиме активів для компенсації завданої шкоди, вся система екологічної відповідальності зазнає краху, і загальним результатом буде додаткова трата ресурсів, вкладених у судові процеси [4].

Важливою складовою Директиви є механізм фінансової відповідальності, який забезпечує виконання принципу «забруднювач платить». Відповідно до преамбули (рециталу 27) та статті 14 Директиви 2004/35/ЄС держави-члени заохочуються до створення умов для використання операторами фінансових гарантій (страхування, банківські гарантії, гарантійні фонди тощо), що покривають витрати на запобігання та усунення шкоди довкіллю. Хоча вимога щодо обов'язковості таких гарантій встановлюється на національному рівні, більшість країн ЄС поступово впровадили страхові продукти, адаптовані під тип ризиків у різних галузях (енергетика, хімічна промисловість, агросектор). Це дозволило сформувати ринок екологічного страхування, який поєднує юридичну відповідальність із технічною оцінкою стану довкілля.

Встановлено, що розмір страхового покриття безпосередньо залежить від рівня технологічної небезпеки підприємства, ефективності систем очищення, моніторингу та застосування превентивних екологічних технологій. Таким чином, страхові механізми виконують не лише компенсаційну, а й превентивну функцію, стимулюючи суб'єктів господарювання до впровадження екологічно безпечних технологій.

У межах національного законодавства України принцип «забруднювач платить» імпліцитно відображений у статті 3 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [5] через вимоги щодо платності спеціального використання природних ресурсів, обов'язку повного відшкодування шкоди, заподіяної порушенням екологічного законодавства, та запровадження системи екологічного оподаткування. Водночас, незважаючи на те, що термін «екологічне страхування» згадується у статті 49 цього Закону, у чинному правовому полі відсутні чітке нормативне визначення цього поняття, єдині критерії оцінки екологічних ризиків та розгорнуті вимоги до страхового забезпечення екологічної відповідальності. Це стримує формування повноцінного ринку екологічного страхування та обмежує можливості практичної реалізації даного принципу.

У чинному законодавстві України обов'язкові вимоги щодо страхування екологічної відповідальності встановлюються фрагментарно

– через окремі спеціальні нормативно-правові акти, а не у вигляді єдиного систематизованого переліку обов'язкових видів страхування [6]. Фактично можна виокремити лише окремі види обов'язкового страхування, у межах яких передбачена відповідальність за заподіяння шкоди довкіллю, зокрема, але не виключно:

– страхування цивільної відповідальності суб'єктів господарювання за шкоду, яку може бути заподіяно пожежами та аваріями на об'єктах підвищеної небезпеки, включаючи пожежовибухонебезпечні об'єкти та об'єкти, господарська діяльність на яких може призвести до аварій екологічного та санітарно-епідеміологічного характеру;

– страхування відповідальності суб'єктів перевезення небезпечних вантажів на випадок настання негативних наслідків при перевезенні небезпечних вантажів.

Більшість таких положень була розроблена ще у 1990-2000-х роках і сьогодні не відповідає сучасним економічним та екологічним реаліям. Розміри страхових сум, що встановлювалися законодавством, є значно нижчими за фактичні масштаби потенційних збитків, а отже, механізм компенсації втратив свою ефективність. У результаті навіть у випадках, коли настає екологічна шкода, страхові виплати не здатні покрити витрати на реальне відновлення довкілля.

Впровадження механізмів екологічного страхування в Україні доцільне на засадах поетапності з урахуванням інституційних і фінансових можливостей держави. На початковому етапі екологічне страхування може запроваджуватися у дозвільних процедурах як фінансова гарантія здійснення потенційно небезпечної діяльності, зокрема у сфері спеціального водокористування, поводження з небезпечними речовинами та експлуатації об'єктів підвищеної екологічної небезпеки. Такий підхід дозволяє інтегрувати принцип «забруднювач платить» без запровадження негайних обов'язкових страхових вимог. У подальшій перспективі із розвитком нормативно-правового забезпечення та ринку страхових послуг екологічне страхування може набути статусу обов'язкового для окремих видів діяльності, що забезпечить повноцінну реалізацію принципу екологічної відповідальності відповідно до європейських стандартів.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що інтеграція екологічного страхування в систему управління ризиками забруднення водних і ґрунтових ресурсів створює фінансову основу для відшкодування екологічної шкоди без додаткового навантаження на державний бюджет. Водночас екологічне страхування виконує регуляторну та превентивну функції, сприяючи підвищенню екологічної відповідальності суб'єктів господарювання та стимулюючи впровадження екологічно безпечних технологій. Реалізація таких механізмів дозволяє забезпечити баланс між економічними інтересами підприємств і суспільною потребою у

збереженні та відновленні довкілля.

Висновки та перспективи подальших досліджень полягають у необхідності розроблення нормативних засад екологічного страхування в Україні, запровадження стандартів оцінки екологічних ризиків і адаптації європейського досвіду фінансових гарантій екологічної відповідальності до національних умов.

Використані інформаційні джерела

1. OECD. Guiding Principles concerning International Economic Aspects of Environmental Policies. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 1972. 35 p.

2. United Nations. Rio Declaration on Environment and Development. In: Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3–14 June 1992. Rio de Janeiro, 1992. Vol. 1, Annex I. URL:

https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.pdf

3. Directive 2004/35/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on environmental liability with regard to the prevention and remedying of environmental damage. Official Journal of the European Union. 2004. L 143. P. 56–75.

4. Environmental Risks and Insurance. A Comparative Analysis of the Role of Insurance in the Management of Environment-Related Risks. Policy Issues in Insurance, No. 6. Paris: OECD, 2003. 232 p.

5. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 черв. 1991 р. № 1264-ХІІ. Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. Ст. 546.

6. Про страхування : Закон України від 18 листоп. 2021 р. № 1909-ІХ. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1909-20>

УДК 504.064.2

*Бєдункова О. О., доктор біологічних наук, професор,
Борщевська І. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
Турчин Я. П., аспірант*

*Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне, Україна*

ПРОСТОРОВА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ РІВНІВ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ПРИКЛАДІ МІКРОРАЙОНУ МІСТА РІВНЕ

У 2002 році в Європейському Союзі набрала чинності Директива 2002/49/ЄС [1], спрямована на оцінювання та регулювання шуму в навколишньому середовищі. Документ запровадив узгоджений підхід до моніторингу, контролю та зниження рівнів шуму, щоб зменшувати його шкідливий вплив і запобігати негативним наслідкам для населення. Водночас, попри наявність правового регулювання, за оцінками ВООЗ шумове забруднення міст й надалі входить до провідних екологічних ризиків для здоров'я та поступається лише забрудненню повітря.

Метою нашого дослідження було оцінити просторову неоднорідність шумового навантаження в межах мікрорайону Північний міста Рівне та визначити ділянки підвищеного акустичного впливу, пов'язані з транспортною й функціональною структурою території.

Об'єкт дослідження – акустичне середовище мікрорайону Північний, предмет – просторовий розподіл еквівалентного рівня звуку. Для досягнення мети виконано: 1) вибір мережі контрольних точок у межах житлових кварталів і вздовж магістральних вулиць; 2) польові вимірювання рівнів шуму в типові часові інтервали доби; 3) просторове моделювання й картографування шуму в ГІС; 4) зіставлення отриманих значень із чинними санітарними вимогами для житлових територій.

Межі мікрорайону були окреслені за адміністративним поділом міста, з наступним розбиттям території на квадрати з кроком у 250 м. Перетин накладених у такий спосіб ліній приймався за маршрутну точку спостережень, відповідно до наявних інфраструктурних споруд та житлових будинків. Всього було вибрано 47 точок для проведення вимірювань.

У кожній із визначених точок проводили визначення рівня шуму за допомогою шумоміру Flus MT-911A, у трикратній послідовності зі

встановленням мінімальних, максимальних та середніх значень. Результати визначень піддавали статистичному обробітку для розрахунку похибки вимірювань [2].

Засоби і методи ГІС дозволяють будувати графічні схеми і карти на базі введених у неї геоінформаційних даних. Для створення та візуалізації математичної моделі процесів поширення шуму нами було використано програми ArcMap та ArcGIS Pro. Зібраний у ході польових досліджень масив даних (рис. 1) вносили в спеціально створений у програмі ArcMap шейп-файл (шейп-файл – файл спеціального формату для запису ГІС-інформації).

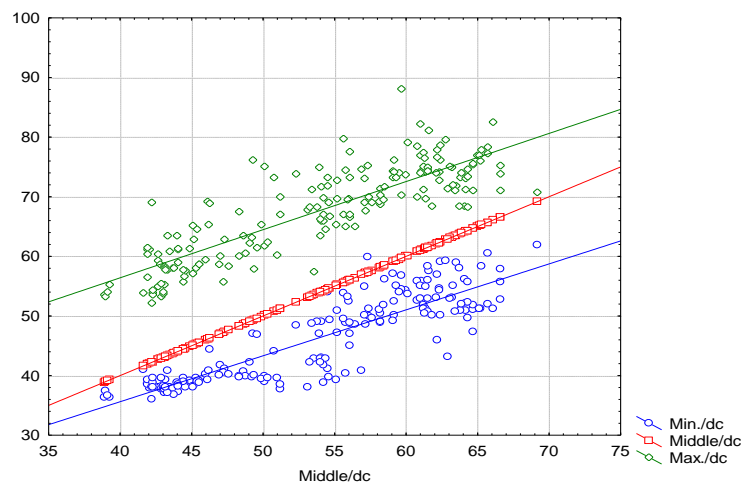


Рисунок 1 – Графічне зображення масиву зібраних даних із визначення рівнів шумового забруднення мікрорайону Північний, дБ

Так, серед мінімально зафіксованих шумоміром значень показники коливались у межах 36 дБ до 61,9 дБ. Серед максимально зафіксованих шумоміром значень показники коливались у межах від 52,1 дБ до 88,1 дБ. Серед середніх зафіксованих шумоміром значень показники коливались у межах від 38,9 дБ до 68,2 дБ.

Карта шуму – це фрагмент генерального плану території, що є топографічною підосною із нанесеними на неї зонами акустичного комфорту і акустичного дискомфорту. Графічне відображення точок із однаковими акустичними характеристиками, з'єднаних між собою ізолініями, дозволяє наочно відобразити рівень шумового навантаження на території. Графічне представлення карти шуму базується на колірній шкалі умовних позначок для рівня шуму, що ґрунтується на типах їх зонування за фактором перебільшення нормативних значень, а розміри точкових значків для позначення контрольних точок на місцевості можуть бути пов'язані з їх рівнями звуку [3]. Конкретних вимог до оформлення карт шуму (за винятком головної вимоги з'єднувати всі

крапки з однаковим значенням ізолініями), на жаль, не існує. Нами було використано методику відображення цих зон у їх колірному оформленні по «принципу світлофора» (рис. 2):

1) зони акустичного комфорту з рівнями, які не перевищують нормативні, виділяються зеленим кольором: (з урахуванням особливостей психологічного сприйняття людини, де «зелений колір – нормально, цілком допустимо»);

2) зони граничних значень (значення за нормою чисельно збігаються з вимірними або обчисленими на території значеннями) виділяються жовтим кольором: («жовтий колір – увага»);

3) зони акустичного дискомфорту з рівнями, що перевищують нормативні, виділяються червоним кольором: («червоний колір – символ заборони, небезпека, неприпустимо»).



Рисунок 2 – Карта шумового забруднення для мікрорайону Північний м. Рівне

Отже, рівні шуму на території мікрорайону Північний різняться від 36 дБ до 88,1 дБ. Більша територія мікрорайону (жовта та червона зони) зазнає перевищення значень шуму в 50 дБ у денну частину доби.

Серед заходів та рекомендацій відносно зниження шумового забруднення, у межах досліджуваного мікрорайону міста Рівне можуть бути рекомендовані: створення зон, вільних від автомобільного транспорту, розвиток велосипедної інфраструктури, а також створення зелених екранів у межах житлової забудови.

Використані інформаційні джерела

1. Директива 2002/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 25 червня 2002 року щодо оцінки та управління шумом навколишнього середовища. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0049> (дата звернення:

10.11.2025 р.).

2. Паянок Т. М., Задорожня Т. М. Статистичний аналіз даних : навчальний посібник. Ірпінь : УДФС України, 2020. 312 с.

3. Адаменко О. М., Рудько Г. І., Консевич Л. М. Екологічне картування. Івано-Франківськ : Полум'я, 2003. 580 с.

Бердін І. В., аспірант

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ФЛОРА ПРИБЕРЕЖНОЇ СМУГИ РІЧКИ ВОРСКЛИ У ЇЇ ВЕРХНІЙ ТЕЧІЇ (У МЕЖАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Річка Ворскла є головною водною артерією півдня Сумщини. Її басейн має дуже багате біорізноманіття, охорона та збереження якого залишається пріоритетною метою сьогодення. Ключовим кроком для досягнення поставленої мети було створення у 2009 році національного природного парку «Гетьманський» площею 23360,1 га вздовж частини долини річки протяжністю 122 км на території сучасного Охтирського району Сумської області [3]. Ця подія ознаменувала активізацію геоботанічних, фітосозологічних та популяційних досліджень на цій території [1, 4-8].

На момент створення парку флора вищих судинних рослин налічувала щонайменше 650 видів, із яких 34 види належать до раритетної фракції [3]. Та разом із багатством видового складу флори, русловим природним комплексам річки Ворскли властиве й істотне антропогенне навантаження [6]. Серед основних проявів антропопресії залишаються сільськогосподарське освоєння заплави річки та зарегульованість русел приток річки. Ситуація лише ускладнюється через збройну агресію РФ проти України.

Важливу роль у збереженні біорізноманіття долин річок відіграє прибережна смуга, яка, знаходячись на перетині водних і наземних екосистем, нівелює негативний вплив людської діяльності та надає прихисток для багатьох видів тварин, по берегах річок зростають чимало корисних видів рослин. На необхідності відновлення прибережних екосистем річок у рамках стратегії збереження біорізноманіття наголошує колектив науковців з провідних європейських науково-дослідних установ [9]. Функціонування річкових та прибережних екосистем залежить від особливостей водної та берегової рослинності, яка надає ряд надзвичайно важливих екосистемних послуг – ефективний захист берегів від ерозії, формування мікроклімату, сповільнення течії, зменшення негативної дії повеней та поглинання поллютантів із ґрунту та води.

Метою даної публікації є характеристика сучасного стану прибережних екосистем верхньої течії річки Ворскли (у межах Сумської області) на основі аналізу флористичного складу прибережних рослинних угруповань, виявлення головних причин скорочення фіторізноманіття та

потенційних загроз існуванню аборигенних видів рослин. Дослідження проводили в червні-вересні 2025 року на ділянці річки Ворскли поблизу села Добрянське Охтирського району Сумської області в межах зони регульованої рекреації Гетьманського НПП. Застосовували геоботанічні, порівняльно-розрахункові та статистичні методи досліджень.

Встановлено, що на цій території флора вищих судинних рослин у прибережних екосистемах річки складає понад 60 видів із 24 родин. Видовий спектр головним чином формують види з родин *Asteraceae* – 12 видів, *Poaceae* – 7 видів, *Cyperaceae* – 5 видів, *Lamiaceae* – 5 видів та *Polygonaceae* – 3 види, решта родин (43%) представлені одним або двома видами (рис. 1).

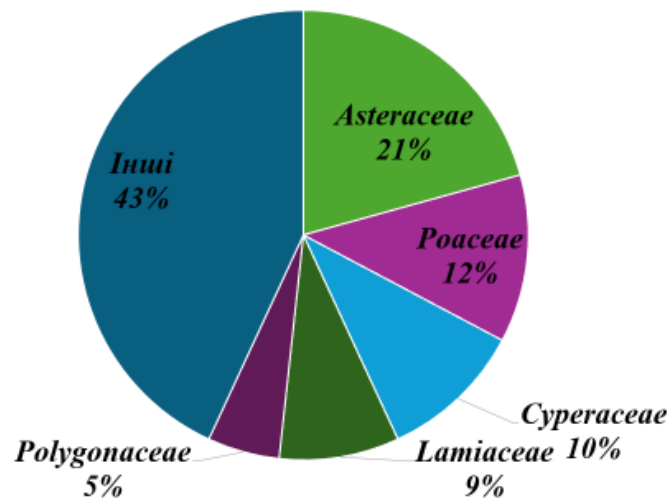


Рисунок 1 – Спектр головних ботанічних родин флори прибережної рослинності досліджуваної території

Наведена структура флори прибережних екосистем верхньої течії річки Ворскли відображає процес її синантропізації, на що вказує провідна позиція видів *Asteraceae*, що збігається з результатами досліджень проведених у середній течії річки [2]. Дану родину представляють здебільшого високоінвазивні рудеральні та синантропні види такі як *Ambrosia artemisiifolia* L., *Xanthium strumarium* L., *Cyclohaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen, *Bidens frondosa* L. та ін. Серед типових для перезволожених місцезростань можна виділити аборигенну *Bidens tripartita* L. та *Eupatorium cannabinum* L.. Серйозну загрозу поширення чужорідних видів створює близьке розташування агроценозів до берегів річки. З урахуванням досить крутого кута нахилу берегів зростає і ризик хімічного забруднення річки.

Дуже поширеними у прибережних екосистемах є очеретяні та очеретяно-осокові угруповання. Домінантом в них виступає *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud., проективне покриття якого може становити від 80 до 100%. Дещо рідше трапляються зарості *Typha angustifolia* L. За умов обміління річки та відсутності систематичного

викосу, ценози *P. australis* охоплюють досить велику площу. Осокові ценози сформовані за участі таких видів як *Carex acuta* L. та *C. acutiformis* L. Серед низькотравних гелофітів з низьким проективним покриттям на мілководді та в навколководній зоні зустрічаються *Alisma plantago-aquatica* L., *Butomus umbellatus* L. та *Veronica anagallis-aquatica* L. Рослини урізу води на ряду з водними видами є індикаторами якості річкової води, їх фітоіндикаційні властивості можуть бути використані при моніторингових дослідженнях впливу людської діяльності на водне середовище.

Стабільні та досить щільні популяції в прибережних екотопах утворюють рослини-гігрофіти, особливо вегетативно-рухомі види. Здебільшого вони виступають домішками в очеретяних та осокових угрупованнях, їх проективне покриття, як правило, становить 1-5%. Поширеними у прибережній зоні Ворскли є *Lythrum salicaria* L., *Rumex hydrolapatum* L., *Mentha aquatica* L., *Lycopus europaeus* L. та ін. Переважна більшість виявлених видів-гігрофітів належать до родин *Lamiaceae* та *Polygoneaceae*. Головною особливістю цих таксонів, яка якісно виділяє їх з-поміж всього гігрофільного різнотрав'я, є те що до них належить найбільша кількість медоносних та лікарських видів.

Проведений аналіз підтвердив той факт, що основними каталізаторами деградації прибережних екосистем виступають антропогенна трансформація та сезонні коливання рівня води в річці, що спричинило суттєвий дисбаланс у видовому спектрі прибережної рослинності. Загалом прибережні екосистеми можна охарактеризувати як чутливі навіть до незначних змін у довкіллі, що неминуче позначається на структурі прибережних рослинних угруповань, структурі популяцій багатьох видів та особливостях функціональних ознак рослин.

У цих умовах особливий інтерес викликають адаптаційні можливості типових для перезволожених місцезростань видів рослин, які відображають реалізацію механізмів збереження фіторізноманіття, відповідно і його екосистемних послуг. Обов'язковою складовою моніторингу стану екосистем долини річки має стати комплексний популяційний аналіз, методи якого є дуже ефективними та інформативними. Отримана інформація дасть змогу об'єктивно оцінити вплив чинників різної природи на розвиток як окремих рослин так і популяцій загалом та розробити рекомендації щодо зменшення негативного впливу на прибережні біотопи. Берегові та прибережно-водні види рослин у Гетьманському НПП та на прилеглих до нього територіях раніше не були охоплені фітопопуляційними дослідженнями. Саме тому у подальших дослідженнях нами буде надана еколого-ценотична та популяційна характеристика ценозоутворюючих видів рослин у прибережній смузі річки Ворскли у її верхній течії.

Використані інформаційні джерела

1. Гудаков, О. О. (2014). Застосування популяційного аналізу для оцінки запасів лікарських рослин у Гетьманському національному природному парку. *Екосистеми, їх оптимізація і охорона*, (10), 189–192.
2. Клепець, О. В., & Карпова, Г. О. (2013). Структура гідрофільної флори середньої течії р. Ворскла. *Чорноморський ботанічний журнал* (9, № 2). С.191–202.
3. Панченко С. М., Карпенко К. К., Вакал А. П. (2012). НПП «Гетьманський». Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.2. Національні природні парки. Під ред. В. А. Онищенко, Т.Л. Андрієнко. Київ : Фітосоціоцентр. С. 124–138.
4. Панченко С. (2016). Рослинність урочища Литовський бір Гетьманського національного природного парку. *Вісник Львівського університету*. Серія біологічна, (74). С. 29–39.
5. Панченко С. М. (2019). Рослини, що занесені до Червоної книги України, у Гетьманському національному природному парку. *Актуальні проблеми дослідження довкілля : Збірник наукових праць (за матеріалами VIII Міжнародної наукової конференції, присвяченої 10-річчю створення Гетьманського національного природного парку, 24-26 травня 2019 р., м. Суми)* С. 111–112.
6. Скляр В. Г., Скляр Ю. Л., Гудаков О. О., & Тихонова О. М. (2012). Характеристика природних комплексів Гетьманського національного природного парку. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія: Агрономія і біологія, (2). С 13–17.
7. Скляр Ю. Л. (2013). До флори макрофітів центральної частини Гетьманського національного природного парку. *Актуальні проблеми дослідження довкілля : Збірник наукових праць (за матеріалами V Міжн. наук. конф.)*. Т. 1. С. 326–328.
8. Скляр Ю. Л. (2017). Флора вищих водних рослин Гетьманського національного природного парку. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія: Агрономія і біологія, (2). С. 3–9.
9. Urbanič, G., Politti, E., Rodríguez-González, P.M., Payne, R., Schook, D., Alves, M.H., Anđelković, A., Bruno, D., Chilikova-Lubomirova, M., Di Lonardo, S., Egozi, R., Garófano-Gómez, V., Gomes Marques, I., González del Tánago, M, Gültekin, Y.S., Gumiero, B., Hellsten, S., Hinkov, G., Jakubínský, J., Janssen, P., Jansson, R., Kelly-Quinn, M., Kiss, T., Lorenz, S., Martinez Romero, R., Mihaljević, Z., Papastergiadou, E., Pavlin Urbanič, M., Penning, E., Riis, T., Šibík, J., Šibíková, M., Zlatanov, T. & Dufour, S. (2022). Riparian zones—from policy neglected to policy integrated. *Frontiers in environmental science*, 10, 868527. DOI : <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.868527>

УДК 581.9.502.75(477.46.65)

¹*Васько О. А., здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, ^{1,2}Глуценко Л. А., кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник*

¹*ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Миргород, Україна*

²*Дослідна станція лікарських рослин ІАП НААН, с. Березоточа, Лубенський район, Полтавська область, Україна*

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЛІКАРСЬКОЇ ФЛОРИ ЛУЧНИХ ТА ВОДНО-БОЛОТНИХ УГРУПОВАНЬ

В Україні сформована концепція сталого використання національних фіторесурсів та їхньої важливої складової – ресурсів лікарських рослин, яка знайшла відображення у природоохоронному законодавстві. Вона базується на результатах багаторічних наукових досліджень стану і динаміки фіторізноманіття. В останні десятиліття наукові розробки застосовуються для удосконалення механізмів збалансованого використання фіторесурсів як важливої складової сталого розвитку суспільства. Вони впроваджуються через систему механізмів регулювання використання, збереження та відновлення природних ресурсів корисних рослин [1].

Збалансоване використання сировини дикорослих рослин, шляхом її вилучення з природного середовища, можна забезпечити лише на основі всебічного вивчення закономірностей та особливостей формування ресурсів цих рослин з урахуванням впливу на них лімітуючих чинників.

Із метою встановлення сучасного стану ресурсів дикорослих лікарських видів лучних та прибережно-болотних і водних екотопів проведено їх моніторинг в межах Лубенського та Чорнухинського районів Полтавської області. Встановлено, що до їх складу в межах України входять 252 види лікарських рослин, які використовуються в офіційній, ветеринарній, народній та гомеопатичній медицині. До складу зазначених угруповань Лівобережного Придніпров'я належать близько 100 видів, з них включених до Європейської фармакопеї (ЄФ) – 18 видів, Державної фармакопеї України (ДФУ) – 8, народною медициною та гомеопатією використовується понад 65 видів судинних рослин.

Авторами виконано 11 геоботанічних описів, зі яких виділені ті, які характеризують лучні та прибережно-водні рослинні угруповання. Оцінку ресурсного потенціалу лікарських видів цих угруповань провели із використанням вибіркового підходу, при якому на першому етапі були виділені потенційно продуктивні ділянки, згідно приуроченості виду. Об'єктами дослідження були обрані лікарські види, які входять до ЄФ, як найбільш перспективні до використання у фармацевтичному виробництві

України, в також ті які входять національного переліку ДФУ та традиційні види, що здавна використовуються у народній медицині.

На основі узагальнення польових даних виділені 4 моніторингові ділянки, які репрезентують типові лучні та болотні угруповання регіону досліджень із участю цінних у лікарському значенні видів характерних для даних екотопів, зокрема: *Acorus calamus* L., *Althea officinalis* L., *Angelica archangelica* L., *Bidens tripartita* L., *Conium maculatum* L., *Eupatorium cannabinum* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Gratiola officinalis* L., *Inula helenium* L., *Iris pseudoacorus* L., *Mentha aquatica* L., *Nuphar luteum* (L.) Smith., *Symphytum officinalis* L., *Valeriana officinalis* L. та інші, а також видів, які знаходяться під охороною: *Nymphaea alba* L., *Orchis palustris* Jacq., *Salvinia natans* (L.) тощо. Частка ресурсозначимих видів в описаних фітоценозах складає 30-34%.

За сучасними методичними розробками з ресурсознавства нами були виділені види п'яти категорій за станом ресурсів лікарських рослин [2-4]: 1) прогресуючий – ресурси великі, здатність реалізації ресурсної спроможності популяцій видів цієї групи не залежить від ступеня антропогенних порушень; 2) рівноважний – ресурси великі, достатні для регульованого використання, реалізація ресурсної спроможності популяцій цих видів співвідноситься з інтенсивністю антропогенних порушень їхніх місцезростань; 3) кризовий – ресурси видів рослин цієї групи обмежені і мають тенденцію до зменшення у зв'язку з порушенням їхнього життєвого середовища; 4) критичний – ресурси цієї групи рослин перебувають на межі виснаження, антропогенно зумовлені дигресивні явища перевищують межу самовідновлення популяцій; 5) катастрофічний – ресурси виснажені, самовідновлення популяцій мінімальне, а втрата біологічної продуктивності незворотна.

Проведений еколого-економічний аналіз сировинної бази лікарських рослин лучних та водно-болотних екотопів, який свідчить, що серед лікарських видів ресурсозначущими є: *Tussilago farfara* L., *Plantago major* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Lythrum salicaria* L., *Urtica dioica* L., (від 10,1 до 50,0 т), *Bidens tripartita* L. (до 90 т). Обсяги заготівлі сировини *Acorus calamus*, *Sanguisorba officinalis* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Nuphar lutea* підлягають суворому лімітуванню в кожному районі їх зростання. Неприпустимим є збирання у природних місцезростаннях *Nymphaea alba* L., угруповання якого занесені до Зеленої книги України. Потреба у сировині таких видів, як *Althea officinalis*, *Inula helenium*, *Valeriana officinalis*, *Ononis arvensis* L., *Plantago major*, *Bidens tripartita* задовольняється за рахунок культивування цих видів.

У сучасних мінливих умовах зростання, кожному з досліджених видів лікарських рослин лучних та водно-болотних екотопів притаманний видоспецифічний перелік чинників, які визначають його ресурсну

значущість чи сприяють її реалізації, а також визначають кількісні показники ресурсів та можливості їх господарського використання.

Серед 22 представлених лікарських видів лучних та водно-болотних екотопів найчисельнішою є група з рівноважним станом ресурсів, яка нараховує 9 видів, із кризовим – 3, критичним – 8 та із катастрофічним – 2. Аналіз чинників, які впливають на стан лікарських рослин цих екотопів свідчить про те, що сировинну значущість популяції втрачають через незворотні зміни середовища їхнього існування. Встановлено, що відновлення ресурсів багатьох видів цієї групи обмежене через складність відтворення їхніх біотопів, тому стан ресурсів є катастрофічним, насамперед для *Acorus calamus*, *Menyanthes trifoliata*, *Nymphaea alba* та інших. Серед чинників, які обмежують їхні ресурси, визначальними є слабка конкурентна здатність популяцій, вибагливість до умов зволоження, багатства і ущільнення ґрунту, тощо.

Серед порушень найвпливовішими є зміна гідрорежиму, пірогенна деградація, пасовищна дигресія біотопів, а також низька конкуренція видів у фітоценозах. Серйозну небезпеку для лікарських рослин лучних і болотних угруповань становить збір сировини без врахування норм і правил заготівлі, переважно для видів, сировиною яких є підземні органи: *Acorus calamus*, *Althea officinalis*, *Filipendula ulmaria*, *Inula helenium*, *Iris pseudoacorus*, *Nuphar luteum*, *Symphytum officinalis*, *Valeriana officinalis*.

Вивчення екологічних умов рівноважних популяцій цінних лікарських видів свідчить, що для більшості видів лучних та болотних угруповань відтворення ресурсів можливе лише через реконструкції умов зростання та послаблення антропогенного пресингу. Сформувані штучно умови, наближені до оптимальних, нині можливо лише для незначної кількості видів, які віднесені до групи із рівноважним та критичним станом: *Bidens tripartita*, *Conium maculatum*, *Filipendula ulmaria*, *Inula helenium*, *Valeriana officinalis* та деяких інших.

Одержані результати можуть бути використані для розроблення заходів збалансованого природокористування природних запасів сировини лікарських рослин регіону.

Використані інформаційні джерела

1. Збереження біорізноманіття України (друга національна доповідь). К. : Хімджест, 2003. С. 23–24, 78–79.
2. Мінарченко В. М., Мінарченко О. М. Методика обліку рослинних ресурсів. К. : Мінприроди України, 2004. 40 с.
3. Мінарченко В. М., Серета П. І. Ресурсознавство. Лікарські рослини. К. : Фітосоціоцентр, 2004. 71 с.
4. Глущенко Л. А., Сивоглаз Л. М. До питання невиснажливого використання деяких дикорослих лікарських видів. *Агроекологічний журнал*. 2010. С. 54–57.

¹*Винников Ю. Л., доктор технічних наук, професор,*

¹*Харченко М. О., кандидат технічних наук, доцент,*

¹*Галінська Т. А., кандидат технічних наук, доцент,*

²*Гаджієв М., доктор технічних наук, професор*

¹*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна*

²*Азербайджанський університет архітектури та будівництва,
м. Баку, Азербайджан*

ДОСВІД УТИЛІЗАЦІЇ РОЗКРИВНИХ ПОРІД

Тверді промислові відходи, зокрема й різноманітні залишки гірничо-збагачувального виробництва [1], в тому числі розкривні малозв'язні породи кар'єрів [2], завдають безперечної шкоди екологічному довкіллю та здоров'ю людей, а отже підвищення ефективності процесів їх утилізації є актуальним щодо розв'язання як науково-технічних, так і соціально-економічних задач суспільства [3].

Відзначимо, зокрема, деякі, вже апробовані, інноваційні технології з, так званої, «геотехнічної стабілізації» твердих відходів гірничо-збагачувального виробництва, як-то:

- створення композитів і геополімерів із «хвостів шахт» шляхом додавання до них лужно-активованих зв'язуючих речовин, синтезованих теж із промислових і агропромислових відходів [4];
- улаштування штучних основ під споруди з відходів піщаних порід та їх сумішей, які утворилися при видобутку рудних корисних копалин [5].

При цьому дослідження [4, 5] зосереджені переважно на оцінюванні механічної поведінки штучних масивів і мікроструктури їх матеріалів.

Авторами апробовано технологію утилізації розкривних малозв'язних порід (головним чином, пісків дрібних і пилюватих, однорідних, а також їх сумішей із супісками пилюватими, пластичними) 2 кар'єрів родовища залізних кварцитів, використовуючи їх як матеріал штучних основ споруд металургійного заводу у місті Горішні Плавні на Полтавщині. Загальна площа створеного штучного масиву (пошарово ущільненої піщаної подушки) склала близько 1,9 млн. м², а його потужність коливалась від 4 м до 6 м. Територію було поділено на 58 захваток.

До початку робіт будівельний майданчик було підтоплено, а місцями заболочено. З його поверхні залягали алювіальні піски, супіски й

суглинки. При цьому потужність слабких порід сягала до 2,5 м. Процес улаштування піщаної подушки з розкривних малозв'язних порід містив такі етапи:

- підтоплену і заболочену територію під насип прорізували дренажними траншеями перерізом 1,0x1,5 м з кроком 3,0 м, які заповнювали щебнем;

- розкривні малозв'язні породи з кар'єрів на майданчик доставляли автосамоскидами;

- ці породи рівномірно розрівнювали бульдозерами й грейдерами, а за необхідності, доводили до оптимальної вологості шляхом зволоження з поливальних машин; на окремих захватках подушку улаштовували із суміші розкривних порід (70-85 % від загальної маси) і супіску пилюватого, пластичного, що залишився від прорізання дренажних траншей;

- потім піски та їх суміші укочували котками. При цьому перший (найнижчий) шар піщаної подушки товщиною 0,4-0,8 м ущільнювали котками пневматичними, а її наступні шари товщиною 0,3-0,6 м укочували переважно самохідними котками у вібраційному режимі роботи, однак на окремих захватках – їх ущільнювали у статичному режимі.

За результатами натурного експерименту, зокрема, встановлено, що при укочуванні у вібраційному режимі малозв'язні породи швидше досягають проектної щільності за наступної послідовності робіт:

- після доставки й розрівнювання матеріалу кожного шару розкривної малозв'язної породи два перші проходи котком виконують з мінімальною швидкістю його руху (орієнтовно 2-3 км/год) у вібраційному режимі при малій частоті та амплітуді коливань (завдяки цьому структура штучного масиву стає більш компактною);

- наступні 2-3 проходи котка за одним слідом здійснюють у вібраційному режимі з більшою частотою й амплітудою (штучний масив вже достатньо щільний для руху по ньому техніки);

- додатково зволожують породу до її оптимальної вологості;

- витримують технологічну перерву (з досвіду – 2-3 год.), протягом якої волога рівномірно розподіляється в межах шару подушки;

- надалі породу ущільнюють як у вібраційному, так і у статичному режимі роботи котка, тощо.

Додамо також, що за результатами паралельного виконання натурного та лабораторного дослідів встановлено, що, так звані, оптимальні параметри ущільнення порід коректно визначати за імпульсами, близькими до технічних параметрів механізмів чи укочуванням за натурних умов, б скільки стандартний (лабораторний) тест Проктора [2] не дає змоги досягти максимальної щільності скелету

гірської породи, що відповідає можливостям сучасних ущільнювачів особливо у віброрежимі.

Значення фізико-механічних характеристик ущільненої суміші розкривних пісків і супіску пилуватого, пластичного виявилися не гіршими за ці ж параметри для однорідних ущільнених пісків, хоча зафіксовано збільшення розкиду їх величин. Змішування різних видів гірських порід і віброрежим суттєво впливають на величину питомого зчеплення ущільненого матеріалу піщаних подушок і мало – на значення його кута внутрішнього тертя; величина модуля деформації ущільнених порід залежить від щільності скелета породи.

Шляхом статистичної обробки дослідних даних визначено емпіричне рівняння взаємозв'язку модуля деформації та характеристик міцності різновидів ущільнених розкривних пісків (мілкий, однорідний; його суміш із супіском; середньої крупності, однорідний) з їх фізичними параметрами (питомий об'єм скелета породи). У напівлогарифмічних координатах графіки залежності модуля деформації, кута внутрішнього тертя та питомого зчеплення всіх видів пісків від питомого об'єму скелета породи є лінійними. При зменшенні питомого об'єму скелета породи величини механічних параметрів матеріалу піщаних подушок зростають.

Таким чином, у результаті промислового експерименту обґрунтовано техніко-економічну ефективність утилізації розкривних малозв'язних порід кар'єрів для зведення штучних основ виробничих споруд. Доведено, що при укочуванні у вібраційному режимі малозв'язні розкривні породи швидше досягають проектної щільності. Значення фізико-механічних параметрів ущільненої суміші виявилися не гіршими за ці ж параметри однорідних ущільнених ґрунтів. Найбільший вплив на змінність параметрів подушки має вид породи й вміст у ній домішок, менший – кількість проходів котка за слідом і режим роботи, а найменший – товщина шару породи до укочування.

Використані інформаційні джерела

1. Tang J., Wang Q., Choi G. (2020) Efficiency assessment of industrial solid waste generation and treatment processes with carry-over in China. *Science of The Total Environment*. Vol. 726, 138274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138274>

2. Геотехнічні властивості штучних основ для об'єктів гірничо-збагачувального комплексу : Монографія / Ю. Л. Винников, М.О. Харченко, Р.М. Лопан, С.М. Манжалій. Полтава : ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2017. 266 с. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/2707>

3. Ілляш О.Е. Навчальний посібник «Управління відходами. Ч. 1. Управління відходами на регіональному та місцевому рівнях» /

О. Е. Ілляш, В. І. Бредун, Ю. О. Чухліб. Полтава : Астроя, 2021. 187 с.
<https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/13628>

4. Korf E. P., Prietto P. D. M., Müller C., Ferrazz S. T. (2024) Environmental Geotechnics: Waste and Geotechnical Stabilization. Environment & Energy, Environmental Science, Engineering and Technology, Environmental Sciences, Newly Published Books, Nova, Science and Technology, Waste. <https://doi.org/10.52305/ZICV4558>

5. Yu. Vynnykov, M. Kharchenko, T. Galinska, M. Hajiyev (2025) Experience in the Use of Solid Industrial Waste in Geotechnics. In book : Liquid Radioactive Waste Treatment: Ukrainian Context. July 2025. pp. 260–271. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_26

*Голік Ю. С., кандидат технічних наук, професор університету,
завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції
та теплоенергетики*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ПАЛАТІ ЛІКАРНІ

На формування сучасного мікроклімату в приміщеннях громадських будівель суттєвий вплив відіграють енергетичні та фінансові витрати, особливо після введення в Україні Європейських стандартів, що вносить суттєві доповнення до вітчизняних норм, це стосується ДСТУ Б EN 15251:2011, ДСТУ EN 13779:2013 та ДСТУ EN ISO 7730 : 2005. Новий Європейський стандарт вентиляції EN 13779:2005 звертає увагу, що створення здорового та комфортного мікроклімату в любий час року може бути за розумною ціною й фінансовими можливостями замовника.

Державні будівельні норми ДБН В 2.5-67: 2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 визначають вітчизняні параметри мікроклімату: температуру, відносну вологість, швидкість повітря, температуру на внутрішній поверхні огорожуючих конструкцій, інтенсивність теплового випромінювання.

За Європейськими нормами EN ISO 7730: 2005 «Ергономіка теплового комфорту середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV та PPD і критеріїв локального теплового комфорту» додатково враховується оцінка допустимого теплового середовища, що розроблена паралельно з американським стандартом 55 (ASHRAE). Цей документ встановлює методи для прогнозування загального теплового відчуття і ступеня дискомфорту (теплова незадоволеність) людей, що піддаються дії помірних термальних середовищ. Таке нормування дозволяє провести аналітичне визначення та інтерпретацію теплового комфорту з використанням розрахунків PMV (прогнозована середня оцінка якості повітряного середовища) і PPD (прогнозований відсоток незадоволених температурою середовища), а також критеріїв місцевого теплового комфорту й допомагає оцінити прийнятність умов навколишнього середовища для забезпечення теплового комфорту людини. При оцінюванні або вимірюванні цих факторів можливо передбачити теплове відчуття для організму в цілому шляхом додаткового врахування

концентрації забруднюючих пилових частинок та діоксиду вуглецю в внутрішньому та зовнішньому повітрі.

У відповідності з ДСТУ Б EN 15251:2011 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель у відношенні до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики», енергоспоживання будівель значно залежить від критеріїв мікроклімату приміщень та будівель, включаючи системи вентиляції, що використовуються при проектуванні та експлуатації.

Нещодавні дослідження показали, що вартість впливу незадовільного мікроклімату приміщення на працівників, власника будівлі та суспільство часто значно перевищує вартість енергії, що використана цим же будинком. Також було показано, що висока якість мікроклімату приміщення може підвищити продуктивність та здатність до навчання та зменшити кількість прогулів. За відсутності комфорту люди схильні до вжиття заходів щодо його підвищення, що може мати вплив на витрату енергії. Головне, декларація енергії без врахування енергії на формування та підтримання мікроклімату приміщень не має сенсу.

Нині, коли Україна крокує до Європейської спільноти, від України вимагають врахування Європейських норм й тому вона повинна наближати своє санітарно-гігієнічне й будівельне законодавства до Європейського й особливої уваги заслуговує оцінка концентрації CO₂ та дрібних пилових частинок із дисперсним розміром PM_{2.5} та PM₁₀. Державні будівельні норми України, рекомендують при дослідженні мікроклімату додаткового проведення експериментальних лабораторних досліджень.

Упродовж останніх п'яти років фахівцями кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» проводилися дослідження стану цих параметрів у шкільних класах окремих навчальних закладів міста. Дослідження проводились впродовж навчального дня учнів одного класу. Для цього перед початком кожного уроку та в кінці проводили: вимірювання температури повітря, відносної вологості, швидкості руху повітря, концентрації CO₂ та дрібних пилових частинок. При цьому враховано, що у приміщенні класів фактично природна вентиляція відсутня, і тому кабінети провітрювалися на перервах, а рекреації – під час уроків.

Фрагмент результатів наведено на рисунку. На ньому видно характерне поступове збільшення концентрації CO₂ в класі, яке доходить до 4300 ppm, що перевищує норму в більше, ніж у 4 рази. Концентрація пилових частинок розміром PM₁₀ зменшувалася з 12 до 9 ppm впродовж уроків, оскільки частинки осідали під дією гравітації. Концентрація

пилових частинок PM2.5 також має тенденцію до зменшення під час уроків, а її тимчасове збільшення можливо пояснити підвищеною активністю дітей на перерві. Що фактично не вплинуло на важкі частинки PM10.

На рисунку 1 наведені результати експериментальних досліджень, коли в приміщенні класу вікна (із метою експерименту) були зачинені й фактичний вплив вентиляції приміщення відсутній. При наявності «привітрювання» в приміщенні показники мікрокліматичних параметрів внутрішнього повітря шкільного класу фактично вкладались у нормативні значення.

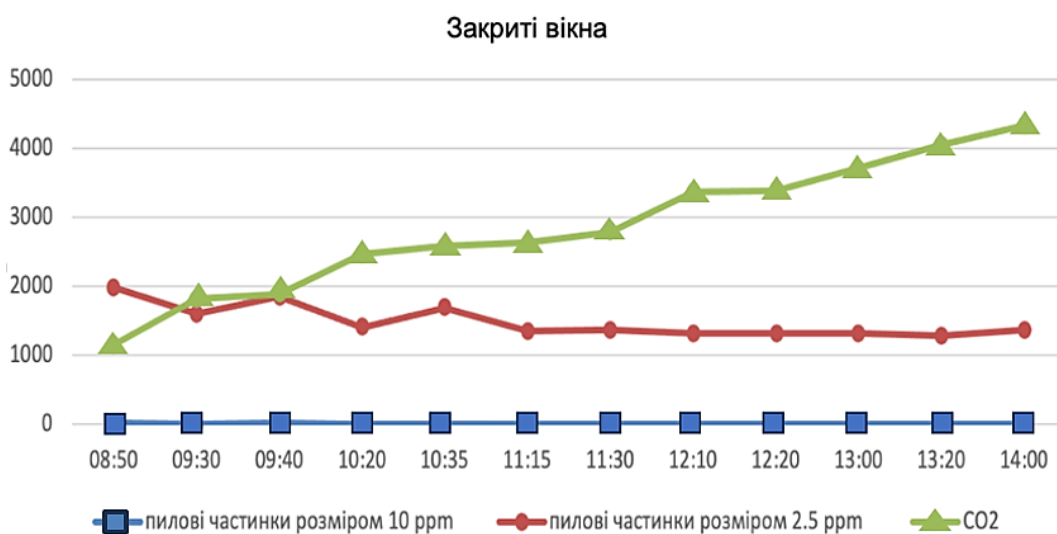


Рисунок 1 – Зміна концентрацій пилових частинок та діоксиду вуглецю впродовж навчального дня у шкільному класі (вікна зачинені)

Сучасний стан лабораторного обладнання для виміру пилових частинок дозволяє вимірювати й більш дрібні частинки розміром 0.3 мкм, концентрація яких за первинною оцінкою знаходилась у межах 150-200 тисяч ррт і змінювалась в широкому діапазоні, що суттєво ускладнило узагальнення й потребує подальшого більш плідного дослідження. Слід відзначити, що сучасні стандарти та будівельні норми не містять рекомендованих нормованих значень таких частинок.

Нами була визначена необхідність проведення подальшого етапу розширених досліджень, орієнтованих на вивчення характеру, наприклад, вірусних аерозольних патогенних частинок у приміщенні шляхом використання сучасних технологій очищення та повітряних фільтрів HEPA й дослідження зміни концентрацій пилових частинок за часом. Й така можливість з'явилась, коли один із членів бригади дослідників захворів на запалення легенів й потрапив як хворий в одну з лікарень міста.

Тоді й була прийнято рішення провести дослідження стану мікроклімату в одній з лікарняних палат, де знаходяться хворі. Для цього в палату на трьох хворих під час процесу лікування, з дозволу лікарів, було встановлено обладнання для вимірювання параметрів мікроклімату впродовж процесу перебування в лікарні до моменту одужання. В палаті проводилось вимірювання температури, відносної вологості, зміни фракційної концентрації пилових частинок впродовж робочого дня лікарні із 8 часів ранку до 22 годин вечора, яке було обумовлено встановленням у приміщенні повітряного фільтру із триступеневої послідовною системою очищення: перед фільтр грубого очищення, вугільний фільтр- та фільтр HEPA.

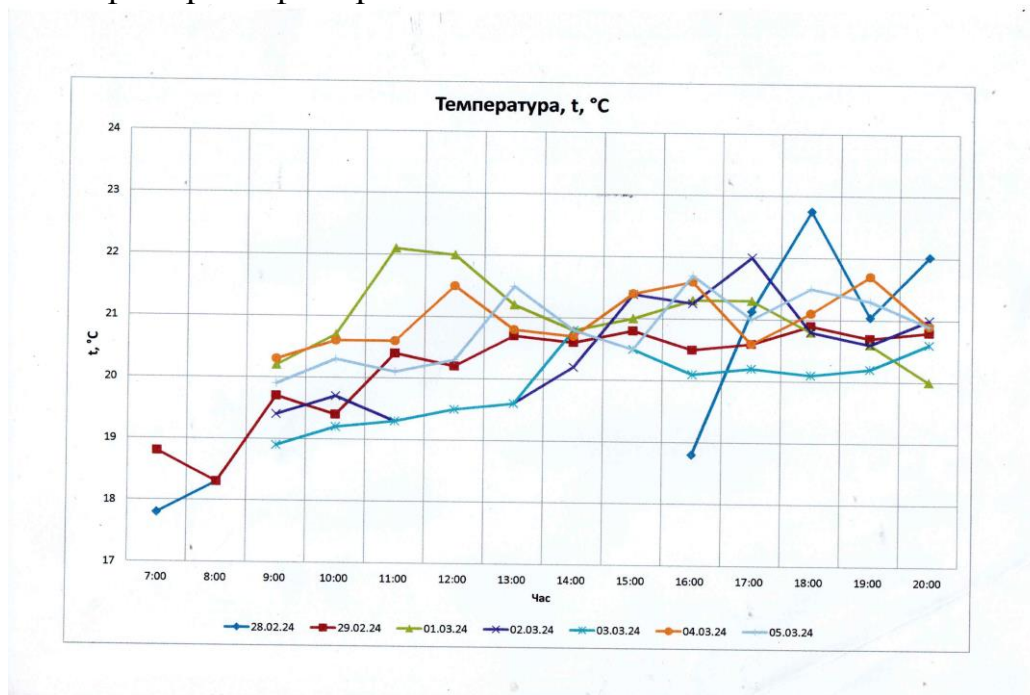


Рисунок 2 – Зміна температури впродовж лірняного дня

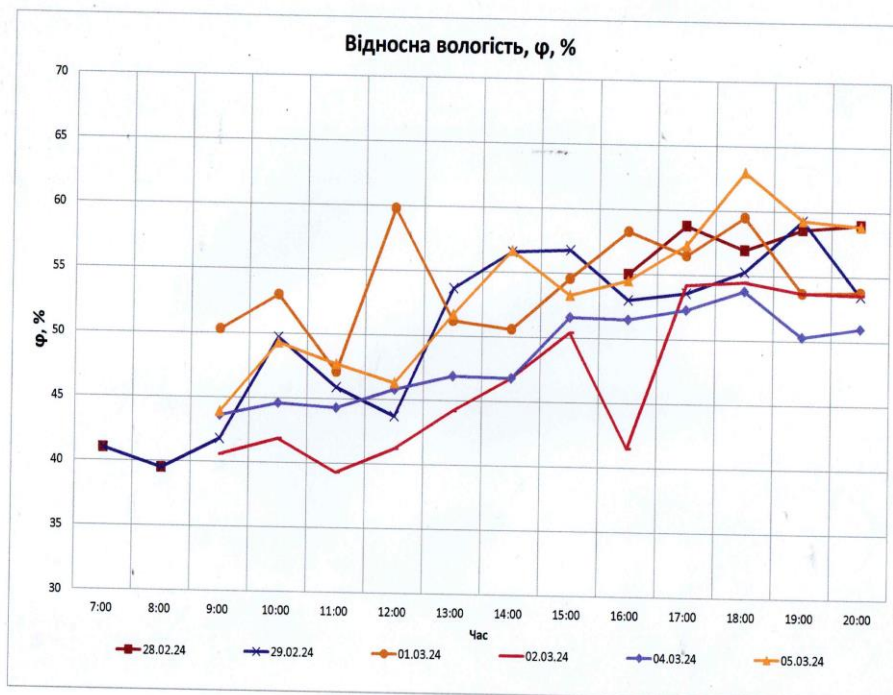


Рисунок 3 – Зміна відносної вологості впродовж лірняного дня

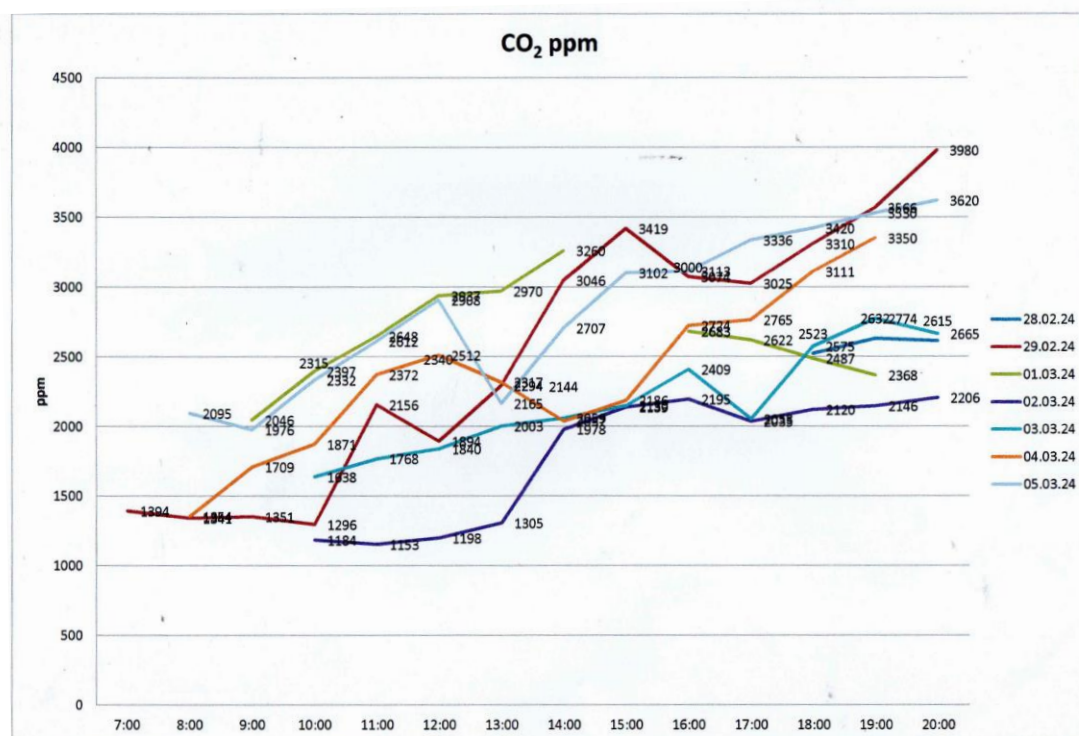


Рисунок 4 – Зміна концентрації CO₂ впродовж лірняного дня

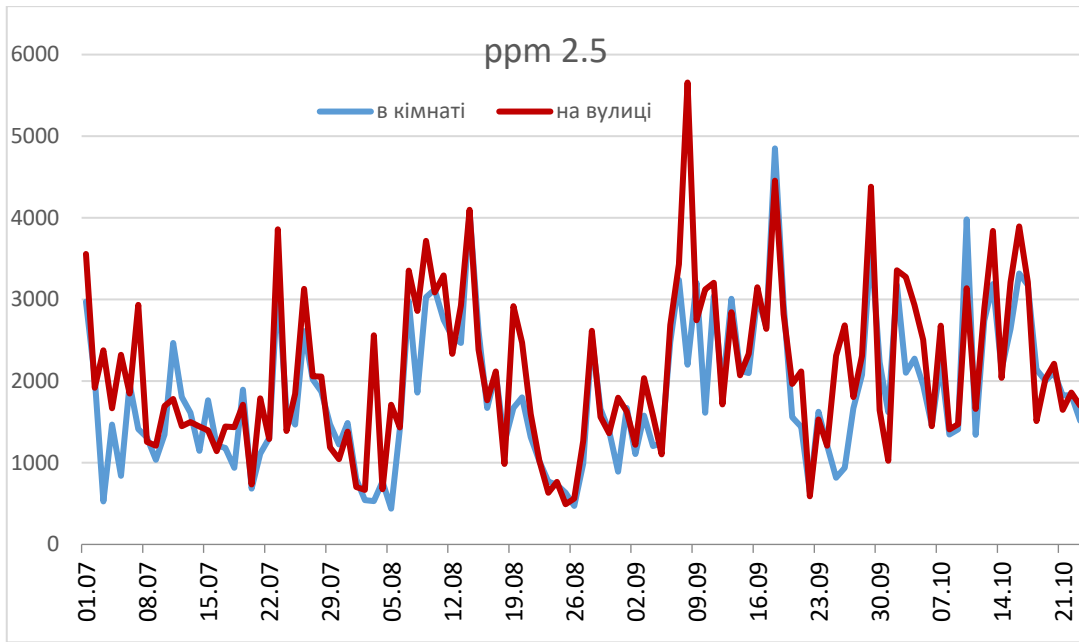


Рисунок 5 – Зміна концентрації пилових частинок у приміщенні та зовнішньому повітрі

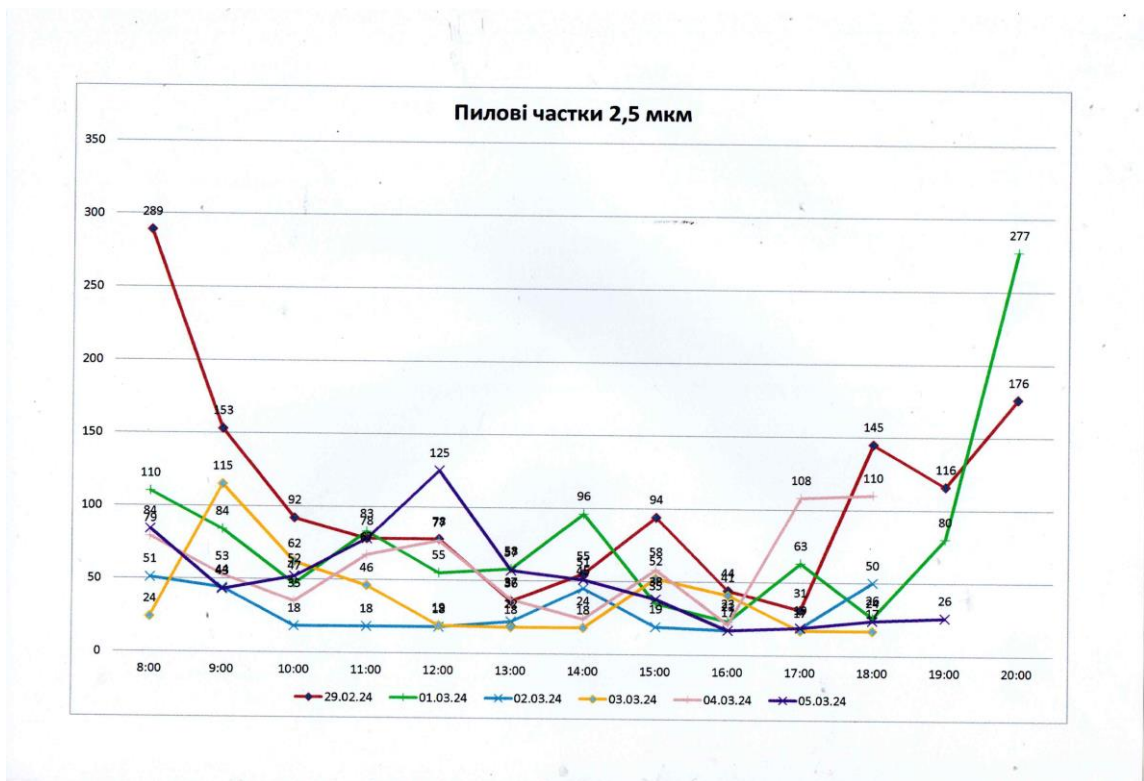


Рисунок 6 – Зміна концентрації пилових частинок розміром 2.5 ppm впродовж лірняного дня при очищенні в триступеневій системі

У відповідності до ДБН В .2.2-10:2022 «Заклади охорони здоров'я» для приміщень класу С, приміщення, які не потребують спеціальних заходів захисту для пацієнтів та персоналу, а також у відповідності з ДСТУ EN 1822-1 «Клас фільтрів та кількість ступенів очищення» потрібно як раз послідовне триступеневе очищення (G4 +F7 +F9), що близько до умов створення якості повітря у приміщенні палати лікарні.

Результати спостережень наведені на рисунках 2 та 3 показують, що температура, відносна вологість впродовж лікарняного дня залишаються близькими до нормативних значень. Концентрація діоксидів вуглецю CO₂ (рис. 4) впродовж дня збільшується від умовно нормативного значення 1000 ppm й доходить до 3500-4000 ppm. Порівняльне спостереження за вмістом пилових частинок, наприклад, розміром 2.5 PM, що наведено на рис. 5, показало залежність внутрішньої концентрації від зовнішньої. Дослідження зміни концентрації (кількості) пилових частинок розміром 2,5PM у палаті при працюючій системі очищення підтверджує експериментальне зменшення пилових частинок, а ступінь очищення в межах однієї фракції, наприклад, PM2.5 складає 85-90%. В результаті проведених короточасних досліджень підтверджено зниження дрібних пилових частинок (бактерій окремого вірусу) та більш швидке вилікування хворих при менших витратах на процес тримання в лікарні та витрати на ліки. Тобто процес створення мікроклімату в палаті лікарні має суттєвий вплив на здоров'я людини і потребує подальшого більш глибокого та якісного дослідження.

Використані інформаційні джерела

1. Ілляш О. Е., Голік Ю. С. (2023). Дослідження ресурсного потенціалу побутових відходів у Полтавській області. *Проблеми охорони праці в Україні*, 39(1-2). С. 47–54.

2. Директива Європейського Парламенту та Ради від 19.11.2008 № 2008/98/ЄС «Про відходи та скасування деяких Директив». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text

3. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

4. ДСТУ EN 45501:2017 Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів (EN 45501:2015, IDT). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=75023

*Закревський А. А., генеральний директор ТОВ «НЬЮФОЛК НКЦ»,
аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СКИПІДАРУ ТА КАНІФОЛІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БОЙОВИХ «ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ» ДРОНІВ

Сучасний розвиток технологій безпілотних літальних апаратів (БПЛА) демонструє перехід від традиційної моделі «платформа + корисне навантаження» до концепції, у якій сама структура дрона може виконувати функції бойової частини або енергетичного носія. Цей підхід, відомий як Structural Energetic Materials (SEM), активно досліджується провідними військово-науковими центрами США, Ізраїлю, Фінляндії та Китайської Народної Республіки [1].

Паралельно світова хімічна промисловість проходить етап переорієнтації на біоресурси, що створює нові можливості для використання продуктів лісової хімії. Зокрема каніфолі та скипідару як функціональних компонентів у композитних матеріалах та паливних системах. У цій роботі розглядається потенціал застосування каніфольних композитів і похідних скипідару в створенні «екологічно чистих» дронів нового покоління, з особливою увагою до монотипних аеродинамічних платформ («монокоптерів») та біорозкладних структурних матеріалів.

Каніфоль (смола хвойних порід), як і скипідар (в основному α -пінен), є масовими продуктами переробки деревини. В Європейському Союзі значні обсяги цих матеріалів виробляє Фінляндія, завдяки розвинутій целюлозній індустрії. Tall Oil Rosin та супутні фракції становлять до 40 % органічних компонентів технологічно придатних для полімеризації, модифікації чи етерифікації [2]. Чиста каніфоль крихка, але її модифіковані форми (гліцеринові, пентаеритритольні та інші естери) застосовуються у промисловості як високоміцні полімерні матриці. Додавання невеликих часток поліуретану, епоксиполімерів чи наноцелюлози підвищує еластичність і стійкість до деформацій. Такі композити можуть бути використані як: несучі елементи корпусів БПЛА; структурні енергетичні елементи, що поєднують механічну та хімічну функції; біорозкладні модулі, безпечні для довкілля після завершення строку служби.

α -Пінен – один із перспективних органічних субстратів, що розглядаються як рідкі носії водню (LOHC). Його здатність до каталізованої дегідрогенізації відкриває можливість створення мікропаливних елементів для малоформатних безпілотних систем. Із технологічної точки зору скипідар може виконувати: роль пального для мікроелектрогенераторів; рідке енергетичне середовище для мініатюрних SOFC-елементів; компонент самозаймистих сумішей у разі підвищених температур [3].

Концепція «Дрону-Насінини»: поєднання біоміметики та SEM-композитів. Аеродинамічна модель кленової крилатки характеризується високою ефективністю авторотації та стабілізації. В природі ця форма забезпечує мінімальні енерговитрати при тривалому зависанні та розсіюванні насіння.

Адаптація такої форми у БПЛА дозволяє: зменшити кількість механічних елементів керування; стабілізувати політ за рахунок обертання; знизити вимоги до потужності електродвигунів. Крилова частина дрона, виконана на основі структурного каніфольного композиту, поєднує такі ролі: несуча конструкція; енергетичний резервуар у твердому стані; біорозкладний елемент; платформа для друкованої електроніки (імітаційна структура «жилок»).

Використання методів FDM або Direct Ink Writing дозволяє наносити на підготовлену каніфольну матрицю провідні чорнила, формуючи мікроструктури датчиків, комунікаційних ліній чи антенних елементів. У потовщеній частині конструкції може розташовуватися: резервуар зі скипідаром або іншим LOHC-середовищем; мініатюрний електрогенератор (паливний елемент); блок навігації та зв'язку; датчики та модулі керування авторотацією. Оптична система з круговим (360°) оглядом може використовувати алгоритми, аналогічні тим, що застосовуються у монокоптерах типу Lockheed Martin Samarai, адаптованих для обертової оптики [4].

На відміну від епоксидно-скловолоконних або карбонових матеріалів, каніфольні композити не створюють тривалих мікропластикових забруднень, природним чином деградують під дією атмосферних факторів та не потребують спеціальних утилізаційних процесів.

Для країн, що мають значні лісові ресурси (Фінляндія, Канада, Україна), це створює цикл «ліс → матеріал → продукт → природне розкладання». Можливість отримання значних обсягів каніфолі та скипідару у межах однієї держави підвищує її технологічну незалежність. Для України це особливо актуально у контексті розвитку власної оборонної, наукової та хімічної індустрії.

Перспективи міжнародної кооперації. Фінляндія виступає потенційним центром співпраці завдяки масштабному виробництву

талової олії, науковим установам, що працюють із ЛОНС-технологіями (VTT), промисловим компаніям, що спеціалізуються на біополімерах (UPM Biofuels, Metsä Group) та дослідженням у сфері дронів та аеродинаміки (Aalto University) [5].

Україна, зі свого боку, має перспективу стати майданчиком для застосування, тестування та адаптації подібних технологічних рішень у рамках подвійного (цивільно-військового) використання.

Висновки.

Каніфоль та скипідар є перспективними природними ресурсами, що можуть бути використані для створення нових поколінь екологічних композитів і паливних систем.

Концепція структурних енергетичних матеріалів відкриває шлях до інтеграції механічних і хімічних властивостей у єдину конструкційну платформу БПЛА.

Біоміметичні дрони монокоптерного типу, побудовані на основі каніфольних композитів, поєднують простоту конструкції, аеродинамічну ефективність і екологічність.

Фінсько-українська кооперація в сфері біохімічних матеріалів та енергетичних технологій має потенціал для створення нового класу інноваційних безпілотних платформ.

Розвиток таких систем може стати прикладом інтеграції «зеленої» хімії, біоматеріалів і оборонних технологій, що відповідає глобальному тренду на зменшення екологічного навантаження інженерних систем.

Використані інформаційні джерела

1. Pu Zhang, Mary A. Heyne, Albert C. To. Biomimetic Staggered Composites with Highly Enhanced Energy Dissipation: Design, Modeling, and Test // arXiv preprint. 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1502.04568>

2. Analysis of the European crude tall oil industry. *Європейська платформа циркулярної економіки*. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/analysis-european-crude-tall-oil-industry>

3. Zhang K, Li M, Wu S, et al. Monoterpenes as renewable fuels: combustion, reforming and hydrogen production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2020;133:110316.

4. Lockheed Drone is Inspired by Sycamore Seeds, Flies Like a Boomerang // WIRED. – 2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wired.com/2011/08/lockheed-sycamore-seeds/>

5. Kinnari J. Infrastructureless unmanned aerial vehicle localization. Doctoral thesis. Espoo: Aalto University; 2024. [Електрон. ресурс]. – <https://research.aalto.fi/en/publications/infrastructureless-unmanned-aerial-vehicle-localization/>

*Ілляш О. Е., кандидат технічних наук, доцент,
Ганошенко Г. В., аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

БІШОФІТ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦІЙНИМ ЦЕМЕНТНИМ В'ЯЖУЧИМ

У роботі обґрунтовано застосування бішофіту ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) як альтернативи цементним в'язучим при рекультивації полігонів твердих побутових відходів (далі – ТПВ). Розглянуто здатність бішофіту до зниження лужності золошлакових систем, ефективність фіксації важких металів у малорозчинні сполуки та підвищення міцності й водостійкості технічних шарів завдяки утворенню оксихлоридів магнію. Враховано фізико-хімічні властивості розсолів Полтавського родовища та визначено основні напрями використання матеріалу. Бішофіт розглядається як перспективний локальний реагент для екологічно безпечної стабілізації та рекультивації полігонів.

Рекультивація полігонів та звалищ ТПВ потребує створення інженерних шарів, які виконують функції стабілізації, ізоляції та технічного захисту, мінімізуючи негативний вплив забруднювачів на довкілля. Одним із перспективних напрямів удосконалення таких технологій є використання магнієвих солей, передусім бішофіту ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), що поєднує хімічні, фізико-механічні та структуроутворювальні ефекти.

Ефективність застосування бішофіту в рекультиваційних процесах пояснюється рядом властивостей, зокрема його здатністю:

- 1) зменшувати лужність середовища за рахунок реакції Mg^{2+} з гідроксидами кальцію та натрію, що характерні для золошлакових систем;
- 2) зв'язувати іони важких металів (Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+}) у малорозчинні хлоридні та оксихлоридні сполуки;
- 3) підвищувати міцність і водостійкість рекультиваційних шарів завдяки утворенню оксихлоридів магнію ($3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$), які виконують роль природного цементувального агента [1].

Таким чином, бішофіт може розглядатися як альтернатива традиційним цементним в'язучим, які мають значний вуглецевий слід і менш ефективно фіксують токсичні метали у зольних залишках.

Основна формула бішофіту – $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, молярна маса – 203,30 г/моль. Катіони магнію у структурі координуються шістьма молекулами

води, утворюючи комплекси $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, що забезпечує високу гігроскопічність і добру розчинність у воді (до 54 г/100 мл при 20 °С) [2].

Природні розсоли містять домішки NaCl , KCl , CaCl_2 , MgSO_4 , Br^- , I^- , B , Sr , Fe , Si , що відображає багатоконпонентність геохімічного середовища. За даними досліджень Полтавського родовища, загальна мінералізація становить 350-450 г/л, вміст магнію – до 95 г/л Mg^{2+} , а чистота мінералу сягає 93-96 % [3-4].

Бішофіт має моноклінну кристалічну систему, безбарвний або білий колір і склоподібний блиск. Його густина становить 1,56-1,60 г/см³, температура плавлення – близько 117 °С [1]. У водних розчинах MgCl_2 проявляє властивості сильного електроліту, рН зазвичай у межах 6,5-7,5. Висока гігроскопічність робить бішофіт ефективним у технологіях пилоподавлення, стабілізації ґрунтів і зміцнення поверхневих покриттів полігонів [5-6].

Бішофіт формується у процесі послідовного випаровування морських вод у соленосних басейнах. Найвідоміші промислові поклади розташовані у Німеччині, Польщі, Китаї, Україні та ін. [7, 8].

Джерела онлайн-даних свідчать, що розчин полтавського бішофіту (РПБ) є полімінеральним хлормagneєвим розсолом (основа – $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) із варіативним вмістом домішок (K , Na , Ca , Br , I , B тощо). Ключові параметри, зафіксовані у відкритих джерелах: густина «сирого» розсолу на гирлі свердловини: $\approx 1270\text{-}1290$ кг/м³ – за матеріалами Полтавської ОДА (технологічний опис видобування на Затуринському родовищі) [9]. Загальна мінералізація застосовуваного РПБ: $\approx 350\text{-}450$ г/л – за фаховим оглядом (Харків) про «розчин полтавського бішофіту», де також вказано варіабельність між свердловинами [3]. Магній у РПБ (орієнтовно): до ≈ 95 г/л Mg .

Для конкретної партії РПБ значення має підтверджуватись паспортом якості [10]. Номенклатура мікродомішок: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Br^- , I^- , B , Fe , Si тощо – підтверджується матеріалами виробника (ТОВ «Фірма «Мінерал») і оглядовими джерелами [4].

В Україні основним джерелом природного бішофіту є поклади Полтавського регіону, де розчини застосовуються в промисловості та дорожньому господарстві. Фізико-хімічні властивості розчинів (густина, мінералізація) відповідають застосуванню як реагентів за наявності контролю домішок. Для інтеграції у полігонні проекти необхідні стандартизовані паспорти якості та регламенти застосування.

Основні напрями використання бішофіту: хімічна промисловість – як сировина для одержання магнієвих сполук, каталізаторів і металевих магнію; будівельна галузь – у виробництві магнієвих оксихлоридних цементів (МОС) та магнієво-фосфатних цементів (МКРС), що мають високу міцність і здатність фіксувати важкі метали [11, 12, 13]; екологічні технології – як реагент для стабілізації золи після спалювання ТПВ, де

Mg²⁺ знижує лужність середовища і сприяє утворенню нерозчинних сполук Pb, Zn, Cd [14, 15]; інженерна геологія – для пилоподавлення, зміцнення дорожніх шарів, а також як компонент технічних шарів рекультивациі [16, 17]; медико-бальнеологічне застосування – у вигляді розсолів при лікуванні опорно-рухових захворювань [10].

Бішофіт є перспективним модифікатором і стабілізатором у системах утилізації та рекультивациі твердих відходів. Його іони Mg²⁺ виявляють властивості нейтралізатора лужності, а в поєднанні з Cl⁻ формують малорозчинні оксихлоридні фази, які фіксують важкі метали [13]. Завдяки наявності високоякісних покладів у Полтавській області, бішофіт можна розглядати як локальний природний матеріал для технологій стабілізації золи, шлаків і формування технічних шарів полігонів, що відповідають принципам циркулярної економіки.

Використані інформаційні джерела:

1. Namada H. M., Yamamoto T. Research progress on improving the water resistance of magnesium oxychloride cement. *Materials*. 2025. Vol. 18(3). P. 1225. <https://doi.org/10.3390/ma18031225>.

2. Pu L., Wang D., Li F. Enhancing water resistance of magnesium oxychloride cement (MOC). *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 415. P. 133104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.133104>

3. Бердник В. П., Кравченко О. І. Дослідження фізико-хімічних властивостей полтавського бішофіту для промислового використання. *Збірник наукових праць Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2019. №97. С. 45–49.

4. ТОВ «Фірма «Мінерал». Технічні характеристики природного бішофіту Полтавського родовища. Полтава, 2020. <https://mineral.poltava.ua>

5. Goodrich B. A., Koski R. D., Jacobi W. R. Monitoring surface water chemistry near magnesium chloride dust-suppressant-treated roads. *Journal of Environmental Quality*. 2009. Vol. 38(6). P. 2372–2381. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0473>

6. Pennsylvania Department of Environmental Protection. Evaluation of environmental impacts from dust suppressants and road stabilizers. *Bureau of Waterways Engineering and Wetlands*. 2022. <https://files.dep.state.pa.us>

7. Nowak B., Liu J. Thermal treatment of MSWI fly ash: Influence of chloride type (NaCl, KCl, MgCl₂, CaCl₂) on heavy metal removal. *Waste Management*. 2019. Vol. 92. P. 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.036>

8. Полтавська обласна державна адміністрація. Звіт з оцінки впливу на довкілля: експлуатація свердловин бішофіту (Затуринське родовище). Полтава, 2022. <https://eko.adm-pl.gov.ua>

9. Полтавська обласна державна адміністрація. «Восьме поле...» (технологічний опис видобування): густина 1270–1290 кг/м³. Електронний ресурс. Доступ: https://eko.adm-pl.gov.ua/Zor_Polt_37_new.pdf

10. ДУ «Укрпрофздравниця». Природні лікувальні ресурси: довідник користувача (розділ про бішофіт; до ~95 г/л Mg). Електронний ресурс. Доступ: https://kurort.gov.ua/wp-content/uploads/2016/11/dovidnyk_plr_sajt.pdf

11. Fan C., Zhang J., Zhao Y. Review on cement stabilization/solidification of municipal solid waste incineration fly ash. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25(36). P. 36415–36433. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3577-8>

12. Bernasconi D., Pera G., Franchi M. Reactivity of MSWI fly ash in magnesium potassium phosphate cement (МКРС). *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 387. P. 131744. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131744>

13. Wang X., Li Y., Zhang W., & Chen L. Study on mechanism of MSWI fly ash solidified by multiple solid waste-based cementitious material. *Processes*. 2023. Vol. 11(8). P. 2311. <https://doi.org/10.3390/pr11082311>

14. Chen L., Li X., Xu Q. Treatment of lead in MSWI fly ash by combined cement solidification and phosphate stabilization. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 293. P. 112865. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112865>

15. Zhan X., Li Y., Zhang W. Co-disposal of MSWI fly ash and electrolytic manganese residue: Heavy metal immobilization and leaching behavior. *Waste Management*. 2018. Vol. 78. P. 583–592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.012>

16. Домнічев М. В. Обґрунтування використання розчину природного бішофіту для закріплення пилячих поверхонь промислових майданчиків. Харків : НТУ «ХП», 2017. 120 с.

17. Розробка рекомендацій з використання бішофіту як пилоподавлювача при експлуатації кар'єрних доріг. Львів, 2018. 45 с.

*Ілюха О. В., кандидат біологічних наук,
Гаврилюк М. Н., кандидат біологічних наук*

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького,
м. Черкаси*

ЗЕМНОВОДНІ НПП «ХОЛОДНИЙ ЯР»: СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ТА ЗАГРОЗИ ДЛЯ ПОПУЛЯЦІЙ

Земноводні є однією з найбільш вразливих груп хребетних, що пов'язано насамперед із втратою середовищ існування, деградацією водно-болотних угідь і глобальними кліматичними змінами [11]. Для України сучасний стан батрахофауни, її біогеографія та охоронний статус добре узагальнені у визначнику Є. М. Писанця «Земноводні України» [10] та у виданні Червоної книги України [12], а також у новіших роботах, що акумулюють просторові дані щодо поширення звичайних видів [11]. Національний природний парк «Холодний Яр» (Черкаська область) (далі – НПП) є перспективною, але недостатньо вивченою територією для дослідження і збереження локальних популяцій амфібій лісостепу.

НПП «Холодний Яр» розташований у центральній частині України, в межах Придніпровської височини, і охоплює мозаїку широколистяних лісів, ярково-балкових систем, заплавної ділянок малих річок та струмків, а також мережу ставків і дрібних штучних водойм різного призначення. Територія знаходиться у зоні лісостепу з помірно континентальним кліматом, де за останні десятиліття, за даними гідрометеорологічних досліджень, зафіксовано стійке підвищення середньорічної температури повітря та зміни режиму атмосферних опадів [5, 6, 9]. Таке потепління супроводжується зміною гідрологічного режиму, скороченням водних ресурсів та посиленням екстремальних гідрологічних явищ, зокрема літніх посух і періодів із вкрай низькою водністю водойм [6, 7, 13]. Для земноводних, чутливих до вологості ґрунту та гідрології дрібних водойм, такі зміни є критичним фактором ризику.

Фізико-географічна структура НПП «Холодний Яр» формує різноманітний набір потенційних біотопів для земноводних. Яружно-балковий рельєф з глибокими улоговинами, джерелами та невеликими струмками забезпечує наявність зволжених ділянок навіть за загальної тенденції до посушливості. У той же час, значну частку водного фонду району парку становлять штучні ставки різного походження – колишні рибогосподарські, рекреаційні, водонапірні чи протипожежні водойми, а також невеликі копанки біля садиб та сільськогосподарських угідь. Ступінь антропогенного навантаження на ці водойми суттєво

відрізняється: від напівприродних лісових ставків, де відсутній інтенсивний рекреаційний або рибогосподарський вплив, до водойм у межах чи поблизу населених пунктів, які зазнають евтрофікації, засмічення, берегової трансформації й зариблення всеїдними видами риб. Така градієнтна система ставків є з одного боку загрозою (через локальну деградацію середовищ), а з іншого – потенційною основою для цілеспрямованого управління нерестовими біотопами амфібій за умови науково обґрунтованого моніторингу та природоохоронних заходів [9, 14].

Польові дослідження земноводних у НПП «Холодний Яр» проводилися у 2023-2025 роках на основі маршрутних візуально-акустичних обліків у період весняно-літньої активності, із залученням стандартних підходів до кількісних обліків амфібій у заповідних територіях [14]. Обстеження охоплювали лісові та прибережно-водні біотопи, з акцентом на дрібні стоячі водойми та слабопроточні відрізки струмків, які є потенційними місцями нересту. Встановлення видового складу здійснювали на основі морфологічних ознак та голосової активності самців; для представників комплексу «зелених» жаб роду *Pelophylax*, з огляду на сучасні дані про високу морфологічну подібність і складну гібридогенну природу групи, визначення обмежували рівнем *Pelophylax* sp. без спроби розрізнити окремі таксони [1]. Як додаткове джерело інформації використовували повідомлення інших дослідників, які мали фотопідтвердження.

У ході досліджень у межах НПП «Холодний Яр» достовірно підтверджено присутність шести видів земноводних: ропухи звичайної (*Bufo bufo*), жаби гостромордої (*Rana arvalis*), представників комплексу зелених жаб (*Pelophylax* sp.), землянки звичайної (*Pelobates fuscus*), райки східної (*Hyla orientalis*) тритона звичайного (*Lissotriton vulgaris*). Усі вказані види широко поширені в лісостеповій частині України, що підтверджено регіональними оглядами та базами даних [2; 3]. Поряд із цим, становить інтерес виявлення на території НПП «Холодний Яр» стабільних угруповань *Rana arvalis* з досить високою чисельністю. *Pelobates fuscus* та *Hyla orientalis*, попри достатньо широке поширення, є більш вибагливими до гідрологічного режиму дрібних водойм і структурних характеристик прибережної рослинності, тому їх присутність у парку свідчить про збереження придатних біотопів. Встановлено, що на території НПП «Холодний Яр» основними місцями нересту земноводних є: Гайдамацький, Монастирський та Карпівський стави, стави в Атаманському парку та урочищі «Маляреве», а також озеро Зубкове. В найближчих околицях напарку земноводні також нерестяться на ставках урочища «П'ятихатки» в селі Мельники, ставках на околиці села Жаботин та інших водоймах.

Ключовим чинником ризику для цих популяцій виступають кліматично зумовлені зміни гідрологічного режиму дрібних водойм.

Зокрема, в 2025 році відмічено повне висихання озера Зубкове, що призвело до припинення розмноження у ньому земноводних. Моделювання майбутніх водних ресурсів України за сценаріями кліматичних змін RCP4.5 та RCP8.5 показало тенденцію до зменшення стоку та зростання дефіциту води в багатьох регіонах, включно з лісостеповою зоною [9]. Аналіз екстремальних гідрологічних явищ в Україні також вказує на збільшення частоти й інтенсивності посушливих періодів, що безпосередньо впливає на водність малих річок і ставків [7]. Подібні тенденції зі зміною температурного та режиму та вологості, пов'язані зі спостережуваним потеплінням, фіксуються в низці праць, присвячених регіональним кліматичним особливостям.

На території НПП «Холодний Яр» основною загрозою для земноводних уже зараз виступає пересихання дрібних природних водойм і деградація штучних ставків унаслідок поєднання кліматичних змін та антропогенного навантаження. У низці ставків, що мають рекреаційне або рибогосподарське використання, спостерігається коливання рівня води, інтенсивне замулення берегової зони, витоптування прибережної рослинності й зариблення видами риб, які споживають ікру та пуголовків.

Глобальні оцінки стану земноводних підкреслюють, що збереження виду можливе лише за умови одночасного менеджменту водних та навколишніх наземних біотопів, врахування просторової структури популяцій і забезпечення екологічної зв'язаності локальних угруповань [5, 8]. Для НПП «Холодний Яр» це означає необхідність планування моніторингу й охоронних заходів на рівні всієї мережі ставків та пов'язаних із ними лісових і лучних ділянок, а не окремих водойм.

В українській практиці моніторингу земноводних на заповідних територіях тривалий час домінували класичні методи, описані, зокрема, в рекомендаціях М. М. Щербака [14]. Останніми роками з'являються роботи, що аналізують вплив погодних умов на чисельність амфібій та плазунів, підкреслюючи важливість урахування кліматичних трендів при плануванні природоохоронних заходів [4].

Із огляду на наведені дані, систему моніторингу земноводних у НПП «Холодний Яр» доцільно будувати як поєднання: регулярних візуально-акустичних обліків на фіксованих маршрутних ділянках; детального картування мережі ставків із класифікацією за ступенем антропогенного впливу; періодичного застосування eDNA для складних таксономічних груп (*Pelophylax*) та малочисельних видів; залучення громадянської науки для збору спостережень про фенологію та випадки масової загибелі амфібій. Такий підхід узгоджується з принципами управління популяціями водно-розмножуваних земноводних, сформульованими Р. Семлічем [7], і дозволяє одночасно відстежувати стан популяцій і ефективність конкретних природоохоронних заходів.

Пріоритетними напрямками збереження земноводних у НПП «Холодний Яр» в умовах кліматичних змін слід вважати: підтримання та відновлення гідрологічного режиму нерестових водойм (у тому числі за рахунок створення системи дрібних тимчасових водойм у лісових масивах і балках), обмеження рекреаційного навантаження на ключові нерестові біотопи, збереження прибережно-водної рослинності та створення буферних зон навколо найбільш цінних водойм. Важливим буде також інтегрування даних обліку чисельності земноводних НПП «Холодний Яр» у загальнонаціональні та міжнародні програми моніторингу, що дасть змогу враховувати локальні популяції у більш широких моделях розподілу видів та сценаріях їхньої відповіді на кліматичні зміни.

Використані інформаційні джерела

1. Biggs J., Ewald N., Valentini A. et al. Using eDNA to develop a national citizen science-based monitoring programme for the great crested newt (*Triturus cristatus*). *Biological Conservation*. 2015. Vol. 183. P. 19–28.
2. Gasso V. Ya., Yermolenko S. V., Kochet V. M. et al. Features of herpetofauna dynamics in the Nature Reserve «Dniprovsko-Orilsky» under conditions of climate change. *Ecology and Noospherology*. 2018. Vol. 29, No. 1. P. 56–61.
3. Nekrasova O., Marushchak O. Records of common species of amphibians and reptiles widespread in northern, central, western and southern Ukraine. *Biodiversity Data Journal*. 2023. Vol. 11. Article e99036.
4. Ovcharuk V., et al. Extreme hydrological phenomena in Ukraine under climate change. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. 2020. Vol. 383. P. 229–235.
5. Pond management for the conservation of amphibians in Collserola Natural Park. Interreg Europe Good Practices database. 2020.
6. Romano A., et al. Man-made sites for the conservation of amphibians in a Mediterranean protected area. *Biological Conservation*. 2023.
7. Semlitsch R. D. Principles for management of aquatic-breeding amphibians. *Journal of Wildlife Management*. 2000. Vol. 64, No. 3. P. 615–631.
8. Stuart S. N., Chanson J. S., Cox N. A. et al. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*. 2004. Vol. 306, No. 5702. P. 1783–1786.
9. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Водні ресурси України у XXI столітті за сценаріями зміни клімату (RCP4.5 та RCP8.5). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2016. № 17. С. 114–122.
10. Писанець Є. М. Земноводні України. Київ : Видавництво Раєвського, 2007. 192 с.
11. Слободян Р. М. Вплив погодних умов на чисельність амфібій та рептилій в агроландшафтах Західної України. *Наукові записки*

Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Біологія. 2024. Т. 84, № 1. С. 25–35.

12. Червона книга України. Тваринний світ ; за ред. І. А. Акімова. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.

13. Шурда К. Е. Реалії України в процесі сучасної зміни клімату. *Вісник Одеського державного екологічного університету. 2014. Вип. 18. С. 56–64.*

14. Щербак М. М. Кількісний облік земноводних і плазунів. Методичні рекомендації щодо проведення моніторингу біологічних об'єктів на заповідних територіях. Київ, 1996. 17 с.

*Кремньов В. О., Беляєв Г. В., кандидат технічних наук,
Беляєва І. П., кандидат технічних наук,,
Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г.,
Тимощенко А. В., доктор технічних наук*

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛО- ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВА І ДОБРІВ

Робота базується на системному підході до організації такої переробки в регіонах України; на сьогодні у промисловий обіг залучена лише мала частина вторинних ресурсів біомаси. Разом із тим, відходи біомаси можуть служити цінною сировиною для виробництва біопалива, біодобрив та кормів.

Основною причиною малих обсягів використання відходів біомаси у якості сировини є високий вміст в них вологи. На 1 т органічної речовини у їх складі припадає декілька тонн води, яка у даній ситуації є баластом, а також створює сприятливе вологе середовище для біологічних процесів деградації органічних речовин. Така деградація докорінно знецінює сировину. Без зневоднення і гранулювання перевезення такої сировини на відстань більше 5 км не рентабельно, а тривале зберігання неможливе.

Тобто, зневоднення сировини вирішує дві задачі: усуває баласт при перевезенні та стабілізує біологічний стан.

Проблеми недовнесення біодобрив у рослинництві.

Україна посідає чи не останнє місце у Європі щодо застосування у рослинництві біодобрив. Це тим більш прикро, якщо взяти до уваги залежність країни від імпорту природного газу, який використовується при виробництві синтетичних добрив у двох напрямках як енергоносіє і як сировина для синтезу аміаку. Отже, виробництво синтетичних добрив суттєво загострює проблему залежності від імпорту газу.

Склалася ситуація для якої характерно водночас:

– значне зниження загальної кількості ресурсоцінних відходів – сировини для виробництва органічних добрив через занепад тваринництва;

– значна їх концентрація на поодиноких потужних підприємствах тваринництва, що унеможлиблює використання традиційних екстенсивних технологій підготовки із них органічних добрив.

Автори мають значний практичний досвід переробки вторинних біоресурсів і пропонують забезпечити відповідний науково-технічний

супровід організації сталої системи на території об'єднаних територіальних громад. На основі досліджень і розробок запропоновані основні концептуальні положення щодо економічно ефективного виробництва із відходів біодобрив і біопалива, які представлені у роботі.

Основна мета наших робіт – сприяння переведенню якомога більшої кількості розповсюджених щорічних відходів які на сьогодні підлягають знищенню у категорію ресурсоцінної сировини для рентабельного виробництва товарної продукції.

Робота присвячена визначенню характерних відходів та розгляду різних аспектів створення сталої системи їх переробки, а також прогнозу екологічних, соціальних та економічних наслідків на розвиток територій. При цьому зокрема висвітлені такі питання:

- широко поширені місцеві ресурсоцінні відходи на території ОТГ і альтернативні методи їх перероблення;

- очікуваний вплив виробництва і використання місцевого альтернативного палива на основі неліквідних відновлюваних відходів лісівництва на розвиток об'єднаних територіальних громад;

- утилізація твердих відходів біологічного походження, як можливість значного зниження негативного впливу експлуатації полігонів (звалищ);

- застосування твердих відходів біологічного походження характерних для урбанізованих територій у виробництві біодобрив, як фактор поліпшення екології і соціального становища;

- координація утилізації різноманітних місцевих відходів біологічного походження, як умова сталого розвитку об'єднаних територіальних громад;

- заходи і ризики при утилізації відходів біологічного походження.

Обґрунтування перспективності утилізації кожного виду відходів потребує розробки на основі системного підходу сукупності технічних рішень, організаційно технічних заходів та бізнес-планів, які є необхідною умовою залучення приватного капіталу до державно-приватного партнерства при вирішенні проблеми утилізації широко розповсюджених відходів біологічного походження.

На наш погляд, таке партнерство можливе у формі територіальних цільових науково-технічних програм з залученням місцевих громад, наукових установ та представників бізнесу.

Інтенсифікація польових тепло- та біотехнологій виробництва біопалива і біодобрив на основі лісівництва, птахівництва, соціальної сфери.

Очікуваним результатом робіт є сприяння забезпеченню дешевим та екологічним деревним паливом і біодобривами, які на сьогодні майже відсутні, вирішенню нагальної проблеми переповнення мулових карт комунальних очисних споруд, зменшенню негативного впливу на

довкілля з боку полігонів (звалищ) твердих відходів, сприяння розвитку лісівництва завдяки додатковим позабюджетним надходженням від утилізації лісосічних відходів.

Для вирішення задач пов'язаних з досягненням зазначеної мети був створений наступний комплекс експериментальних стендів і дослідно-промислових установок: стенд для експериментальних досліджень організованого сушіння та зберігання відходів деревини під впливом факторів довкілля у масштабі, наближеному до промислового; самохідний ворушитель компосту на гусеничній ході; горизонтальний стрічковий змішувач і гідравлічний штабелер; дробарка для високовологих матеріалів; машина для зневоднення відходів біомаси; лабораторний стенд для дослідження сумісних процесів сушіння та подрібнення; експериментальна установка комбінованого сушіння твердих дисперсних матеріалів із використанням енергії сонця та низькопотенційної теплоти.

Були побудовані відкриті майданчики з твердим покриттям для компостування загальною площею 900 м².

За результатами досліджень розроблено:

– спосіб довготривалого зберігання вологої сировини для виробництва біопалива та біодобрив який унеможливорює самозаймання (деревини) та втрату азотних сполук (біодобрива);

– спосіб одержання паливної тріски з неліквідних відходів деревини.

– проєкт реалізації виробництва паливної тріски у лісогосподарському підприємстві;

– щорічний цикл експлуатації підприємства з виробництва повітряно-сухої паливної тріски на території державного лісогосподарського (ДЛГ) підприємства [1, 2].

Сумісно з Київзеленбудом проведено дослідно-промислове освоєння використання листового опаду урбанізованих територій для виробництва біодобрив та біопалива. Результати наведені у роботі створюють підґрунтя для організації економічно ефективного виробництва біопалива та біодобрив у польових умовах.

Інтенсифікація біологічної конверсії (компостування), зневоднення компостів, біопалива та інших сипких матеріалів у спеціалізованих закритих спорудах.

Роботи, спрямовані на створення науково-технічних основ економічно-ефективних технологій і устаткування подвійного призначення, на якому можливо проводити як технологічний процес біологічної конверсії шляхом мікробіальної сукцесії (компостування) під впливом аеробної мікрофлори так і технологічний процес зневоднення зрілих компостів біопалива та інших сипких матеріалів.

Для досягнення зазначеної мети були виконані наступні дослідження і розробки: одночасне підведення теплової енергії сонячною радіацією до

верхньої поверхні нерухомого шару крізь світлопроникливе покриття та енергії кондукцією і конвекцією до нижньої поверхні при періодичному механічному перемішуванні; принципово-апаратна схема сховища-сушарки з одночасним використанням енергії сонця й низькопотенціальної теплоти; тепломасообмін при сушінні ККПМ у горизонтальному щільному шарі з його періодичним перемішуванням в умовах конвективно-кондуктивного підведення теплоти до нижньої поверхні шару.

Компостування і сушіння в закритих спеціалізованих сховищах-сушарках пропонується проводити в спеціально розробленій ІТТФ інноваційній сонячній сушарці з пересувним перемішувачем пристроєм з електроприводом виробництва КНР. Запропонована її модернізація, яка полягає у підведенні додаткової теплоти до нижньої поверхні шару матеріалу за допомогою теплообмінника типу «тепла підлога», розташованого під шаром матеріалу. Таке технічне рішення забезпечує кратне збільшення продуктивності сушарки завдяки можливості цілодобової експлуатації на відміну від «світлового» дня. Крім того, перемішування проводиться по всій товщині шару матеріалу і одночасно оновлює як верхню, так і нижню поверхню шару матеріалу. Теплова енергія підводиться випромінюванням, кондуктивністю та конвекцією.

Теплоносієм виступає оборотна теплофікаційна вода, а джерелом енергії – вкопне чи біопаливо за допомогою водогрійного котла.

Отже, спеціалізована споруда подвійного призначення є інноваційною розробкою з використанням ряду ноу-хау як за конструкцією так і за способом роботи. Вона розроблена за модульним принципом і дозволяє споруджувати сховища-сушарки довжиною робочої частини від 50 до 200 м. Споруда дозволяє обробляти речовини з неприємним запахом і пристосована для запобігання його розповсюдження, що має особливе значення при компостуванні таких речовин.

Використані інформаційні джерела

1. Kremnov V., Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V., Shpilberg L., Timoshchenko A. Fire safe storage and preliminary dehydration of wood waste with diameter < 30 mm from final felling and forest care felling, as a semi-finished product for the production of solid fuel. *Journal of new technologies in environmental science*. Vol. 6. No. 3, pp. 85–90. <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2023/02/1-No-3-2022.pdf> .

2. Кремньов В. О., Тимошенко А. В., Шпільберг Л. Ю., Жуков К. Л., Корбут Н. С. Спосіб довготривалого зберігання вологої паливної тріски з тонкоміру деревини. Патент України на корисну модель №142712 МПК F26B 9/00; C10L 5/00. Опубл. 25.06.2020, бюл. № 12.

Олійник О. В., здобувачка середньої освіти,
Мовчан В. В., вчитель географії

Ручківська філія Петрівсько-Роменського ліцею Петрівсько-Роменської сільської ради, Миргородський район, Полтавська область, Україна

СУЧАСНИЙ СТАН РІДКІСНОЇ ФЛОРИ НА ЗАПЛАВІ РІЧКИ ХОРОЛ НА ПІВНОЧІ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Останнім часом річкові заплави потерпають від значного антропогенного навантаження. Особливо це стосується тих частин заправ, які перебувають під агроценозами. Як приклад, можна навести село Ручки Петрівсько-Роменської громади. Та незважаючи на це, тут ще знаходяться цінні ділянки з рідкісними видами рослин. То ж постає необхідність невідкладного дослідження цих об'єктів.

Окремі обстеження заплавних природних комплексів на території теперішньої Петрівсько-Роменської сільської ради здійснив на початку ХХІ. Корнус А. О. [2]. Під час проведення досліджень місцевими краєзнавцями ключової ділянки річкової заплави в між селами Ручки та Петрівка-Роменська вдалося отримати нову інформацію стосовно сучасного стану лучних геосистем [1]. Проте, детальної характеристики соцологічної цінності заплавних природних комплексів Руки до цього часу не було.

Для дослідження нами було обрано три локації, які місцеве населення називає: Верби, Захоролля та За Швеґриним містком (рис. 1).

Територія локації За Швеґриним містком перебуває найближче до центру села. Через це досить часто через луки відбувається рух не лише пішоходів, а й мото- та автотранспорту. Площа, на якій проводилися дослідження становить близько шести гектарів. Тут нам вдалося встановити місця зростання *Anacamptis palustris*, занесеного до списку Червоної книги України. Його популяція на даній ділянці хоча й розріджена, проте займає майже всю територію дослідження і зустрічаються як поодинокі рослини, так і невеликими групками. Також тут зростають два види роду *Dactylorhiza* – *Dactylorhiza incarnata* та *Dactylorhiza majalis* (рис. 2).

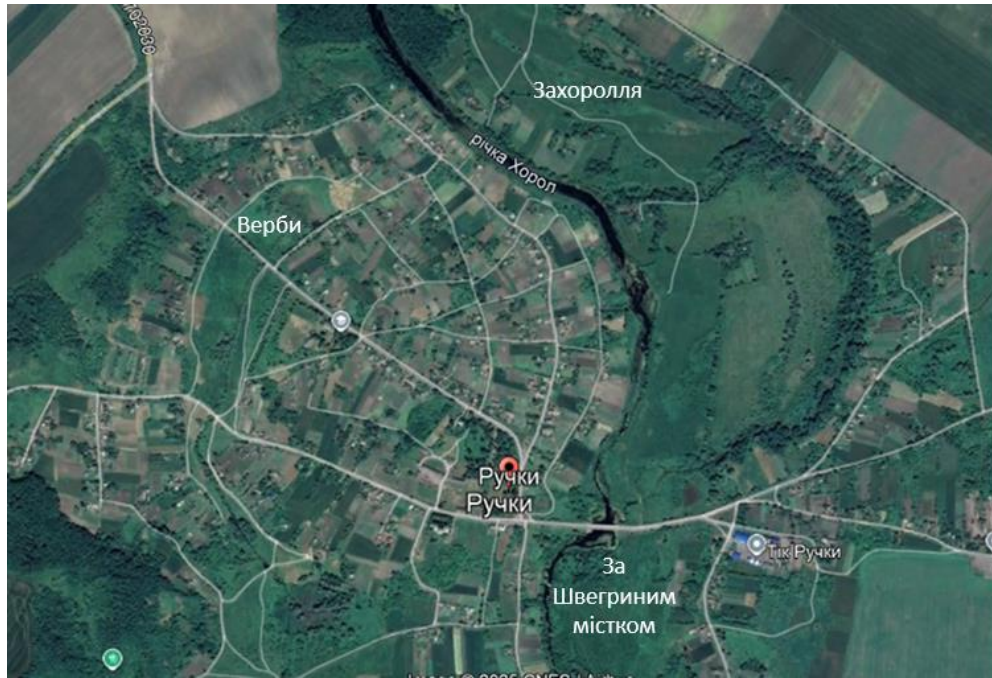


Рисунок 1 – Територія досліджень в районі села Ручки



Рисунок 2 – Екземпляри *Dactylorhiza majalis* та карта-схема їх місцезнаходжень

Обидва види теж мають такий природоохоронний статус як і зозулинці. Кількість їх тут незначна. На всій ділянці вдалося виявити лише п'ять особин *Dactylorhiza incarnata* та три особини *Dactylorhiza majalis*. Варто зауважити, що в минулому році на одній із ділянок було виявлено сім особин цих рослин, а в цьому році ми їх не знайшли. В той же час, там де в цьому році зростає вісім особин *Dactylorhiza*, в минулому році було лише три. Більш за все, це пов'язано з весняним випалюванням окремих ділянок, що в свою чергу пригальмовує ріст цінних видів рослин. До речі, за даними інтернет-ресурсу Червоної книги України в Полтавській області зафіксовано лише одне місце зростання пальчатокорінника травневого. То ж нові знахідки цього виду є досить цінними для природоохоронної справи.

На одній із ділянок даної локації виявлено дві недалеко віддалених одна від одної групи ще одного виду зі списку Червоної книги України. Це косарики тонкі. Кожна група займає площу приблизно по п'ятнадцять квадратних метрів, а на кожному квадраті зростає орієнтовно від тридцяти до сорока особин. То ж, як бачимо, незважаючи на антропогенне навантаження, дана локація є досить цінною екологічною ділянкою.

Локація Захоролля є найбільшою серед трьох локацій. Площа, на якій проводилися обстеження становить близько десяти гектарів. Спочатку нами було виявлено незначну кількість поодиноких особини *Anacamptis palustris*, які зростають в зниженій ділянці заплави. Можливо їх було б тут і більше, але частина місця зростання даного виду засмічена залишками скошеної трави. Також поряд зустрічаються невеликі групки *Gladiolus tenuis*. Проте найбільш вражаючою виявилася східна частина даної локації. Саме тут ми виявили значну популяцію *Gladiolus tenuis* (рис. 3). Орієнтовна площа складає близько п'ятисот метрів квадратних. Якщо врахувати, що на одному квадраті росте від п'ятнадцяти до двадцяти особин, то загальна кількість може бути близько десяти тисяч.

Можливо даний вид мав би ще більшу популяцію, але поряд була вже скошена ділянка. Коли ми прийшли сюди наступного місяця, то побачили скошеною всю площу, на якій зростали косарики. Залишається надія, що до того часу рослини встигли утворити насіння, а бульбоцибулини запасилися поживними речовинами. То ж наступного року необхідно провести моніторинг, щоб встановити вплив сінокосіння на розвиток популяції *Gladiolus tenuis*.

Останню локацію дослідження місцеве населення називає Верби. Знаходиться вона біля центральної дороги, яка проходить від в'їзду до центру села. Площа її зовсім незначна – менше ніж 0,5 га, проте саме тут можна спостерігати найбільшу і найщільнішу популяцію *Anacamptis palustris*. Його кількість, за нашими підрахунками, сягає – 134 особини (рис.4). До того ж, є припущення, що окремі рослини мають зовсім іншу

видову приналежність, а саме – *Anacamptis laxiflora*. Також тут було виявлено дві особини *Dactylorhiza majalis*. Варто зауважити, що до середин 80-х років майже вся територія даної локації перебувала під старичним озером, а після меліорації відбулося заростання природною рослинністю.

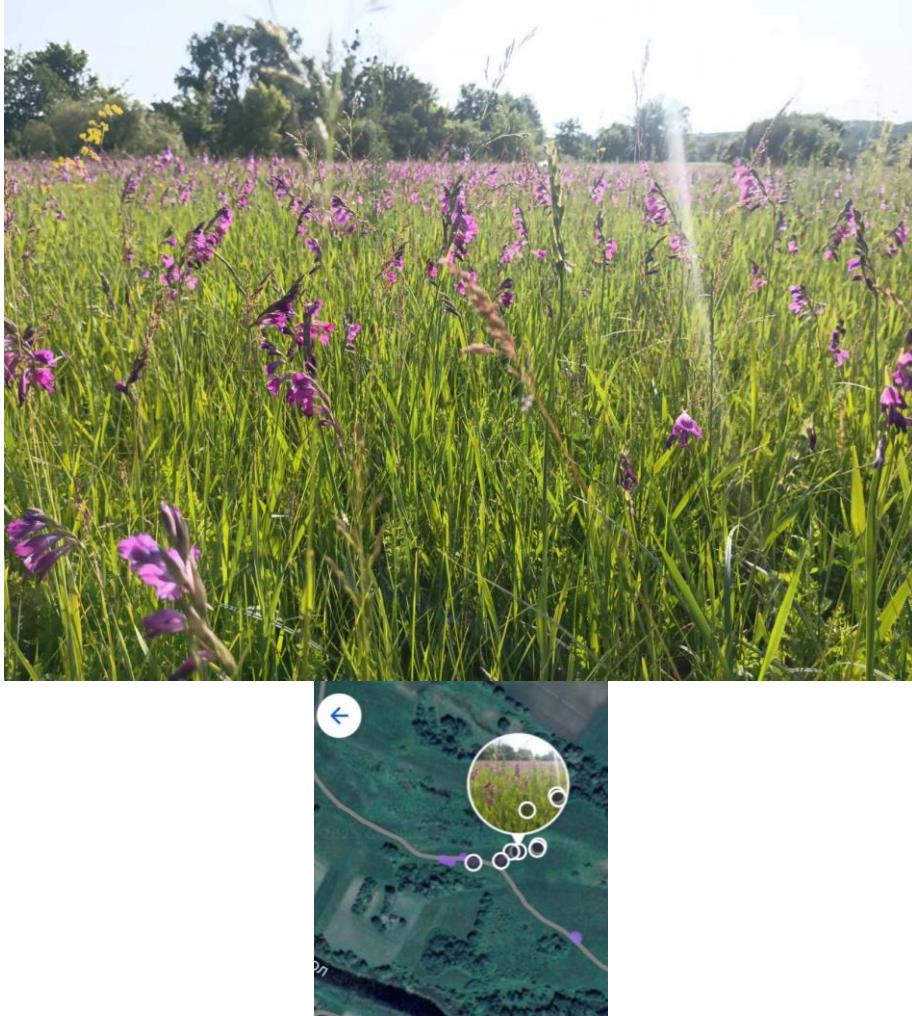


Рисунок 3 – Екземляри *Gladiolus tenuis* та карта-схема їх місцезнаходжень



Рисунок 4 – Екземпляри *Anacamptis palustris* та карта-схема їх місцезнаходжень

Висновок. Результати досліджень вказують на необхідність охорони річкової заплави. Найоптимальнішим варіантом для цього стало б створення в долині річки Хорол філії регіонального ландшафтного парку «Гадяцький». Такої ж думки дотримуються як місцеві краєзнавці, так і полтавські науковці [1, 3].

Використані інформаційні джерела:

1. Гамза Д. А., Мовчан В. В. Ландшафтна структура ключової ділянки в середній течії річки Хорол. *Сьомі Сумські наукові географічні читання: збірник матеріалів Всеукр. наук. конф. (Суми, 14-16 жовтня 2022 р.)* [Електронний ресурс] / СумДПУ імені А. С. Макаренка, Сумський відділ Українського географічного товариства; [упорядник Корнус А. О.]. Суми. 2022. С. 89–94.
2. Корнус А. О. Особливості ландшафтної структури ключової ділянки в басейні Середнього Хоролу. *Фізична географія та геоморфологія*. 2005. Вип. 49. С. 151–157.
3. Смоляр Н.О., Ханнанова О.Р. Концепція розвитку територіальної структури регіонального ландшафтного парку «Гадяцький» (Україна). *Біологія та екологія*. 2016. Т.2, №1. С. 38–46.

ВПЛИВ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА РОЗСПЮВАННЯ НАСІННЯ

Забруднення повітря є однією з найсерйозніших проблем, з якими стикається світ сьогодні. Його можна визначити як відхилення показників якості повітря за будь-яким компонентом від значення, яке існувало б без діяльності людини. В містах основним джерелом забруднення повітря є транспорт та енергетичні установки, які збільшують вміст продуктів горіння, пилових частинок та органічних сполук.

Попри широкий інтерес науковців та численні дослідження, забруднення повітря у містах зазвичай розглядається майже виключно з точки зору ризиків для здоров'я населення. Тим не менше, міста є частиною ареалів різноманітних рослин, на які покладаються численні функції по збереженню якості довкілля на урбанізованих територіях. Здатність зелених насаджень виконувати свої екологічні функції очевидно суттєво знижується під тиском антропогенного забруднення. Також наявні публікації, що аналізують вплив полутантів на сільськогосподарські культури та врожайність. Дослідниками встановлено, що ці впливи можуть призвести до суттєвих загроз для продовольчої безпеки та створюють перешкоди для успішного розвитку приміського рослинництва. Разом з цим, декоративні та дикорослі рослини міст зазнають не меншого негативного впливу, який викликає широкий спектр негативних змін у стані здоров'я урбофітоценозів.

Найяскравіші прояви впливу забруднення – це прямі пошкодження листя: некроз (відмирання тканин), хлороз (пожовтіння), плямистість, бронзування та передчасне опадання листя (старіння). Також забруднювачі проникають всередину листових пластин та пошкоджують хлоропласти, зменшують вміст хлорофілу та впливають на ферменти, задіяні в процесі фотосинтезу і дихання рослин, зменшуючи виробництво енергії. Одночасно з цим вони можуть блокувати або пошкоджувати продихи, впливаючи на газообмін та призводячи до пошкодження клітин. Результатом цього стає затримка росту, зменшення площі листових пластин, розміру квітів, кількості плодів та насіння, а також загальної біомаси. Більше того, власне репродуктивні процеси змінюються в гірший бік: знижується виробництво пилку, уповільнюється проростання насіння та зав'язування плодів.

Коли рослини намагаються впоратися з цим навантаженням, відбуваються зміни в структурі та співвідношенні білків, активності

ферментів та рівні антиоксидантів, що стає причиною загального ослаблення рослин: вони стають більш вразливими до шкідників, хвороб, посухи та холодового стресу.

Серед основних забрудників повітря особливе занепокоєння викликають озон, оксид сірки та нітроген. Озон спричиняє знебарвлення листя, заупорку продихів, зниження дихання та затримку росту. Діоксид сірки, попри важливість сірки для росту рослин при надмірних концентраціях призводить до втрати хлорофілу, некрозу, в'янення та зменшення біомаси. Діоксид азоту пошкоджує мембрани, впливає на пігменти та зменшує транспірацію. На окрему увагу заслуговують пилові частинки. Їх основний вплив проявляється у накопиченні на поверхні листових пластин, що перешкоджає нормальному газообміну, блокує доступ світла, а отже негативно впливає на процеси фотосинтезу. Також пил може накопичувати тепло та призводити до теплового стресу, який пригнічує фізіологічні процеси та ефективність роботи ферментної системи. В дослідженнях з виноградом та інжиром було встановлено, що пил здатен викликати видимі пошкодження та спричиняти зміну кольору листя. Пил може містити кислі сульфати, нітрати, важкі метали (такі як свинець, цинк), що призводить до прямого токсичного ефекту та клітинного стресу.

Менш вивченими є питання впливу пилу на репродуктивні процеси у рослин. У даному дослідженні розглядається вплив пилового забруднення на поширення плодів та насіння.

Загалом очевидно, що накопичення пилу на поверхні плодів та насіння у рослин, які покладаються на вітер у питанні їх поширення, призводить до збільшення ваги цих утворень, а отже і до меншого пробігу у повітрі. Близьке до материнського організму проростання насіння формує ряд серйозних проблем:

1. Затінення материнським організмом зменшує кількість тепла та світла, необхідні для росту та фотосинтезу молодих рослин.

2. Материнський організм маючи більшу кореневу систему обмежує кількість поживних речовин, доступних для молоді.

3. У конкуренції за життєвий простір буде вигравати більш розвинутий материнський організм.

4. Поблизу від материнської рослини кількість насіння максимальна, а отже шанси на проростання та подальший ріст та розвиток мінімальні.

5. Увагу запилювачів буде привертати вища і старша рослина.

Попри очевидність даних проблем постає питання, а наскільки вираженим є цей негативний вплив. Для його оцінки було проведено експеримент з використанням плодів рослин, що традиційно асоціюються з перенесенням вітром та широко поширені у складі міських насаджень: клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) та липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.).

Acer platanoides утворює крилатки, сама насінина сферичної форми, крильце достатньо велике еліпсоподібної форми з загостренням до насінини. Клен ясенелистий також має плід-крилатку, але насінина довгаста, із заокругленням на один бік. Крильце меншого розміру відносно клена гостролистого та загалом гострішої конфігурації. Липа серцелиста для розсіювання використовує інших принцип: насіння об'єднане в грона на довгій ніжці, яка несе листок, що слугує крильцем-парашутом.

Насінневий матеріал було зібрано в сільській місцевості та біля одного з проспектів в Києві. Якщо порівнювати його за морфологічними ознаками, то можна відразу сказати, що зразки з сільської місцевості більші за розміром та мають більші за площею крильця. Окремо можна зазначити, що плоди липи найбільше відрізняють: у зразку, зібраному біля проспекту, помітно тонша та коротша ніжка, самі насінини набагато меншого діаметру та грона мають як правило 3-4 насінини на відміну від зразка із села, які містять 2, рідше 3 насінини більшого діаметру.

Для отримання порівнюваних результатів відбирались приблизно однакові за розміром зразки так, щоб мінімізувати контакт з різноманітними поверхнями, що міг призвести до зменшення кількості пилу накопиченого на їх поверхні. Насіння запускали з висоти 3,5 метри, що є типовою для крон даних дерев за відносно стабільного та несильного руху повітря. Запускали 10 груп по 5 крилаток для формування статистично значимої вибірки.

Результати дослідження (рис. 1 та рис. 2) показали, що плоди *Acer platanoides* із чистої місцевості у більш ніж 60% випадків пролітали 5 метрів, тоді як забрудненні зразки досягли такої відмітки лише у 40% випадків. Середня відстань польоту зразка з села 4,53 м, із проспекту 4,1 м, що наочно показує якість та стан насінневого матеріалу з обох груп.

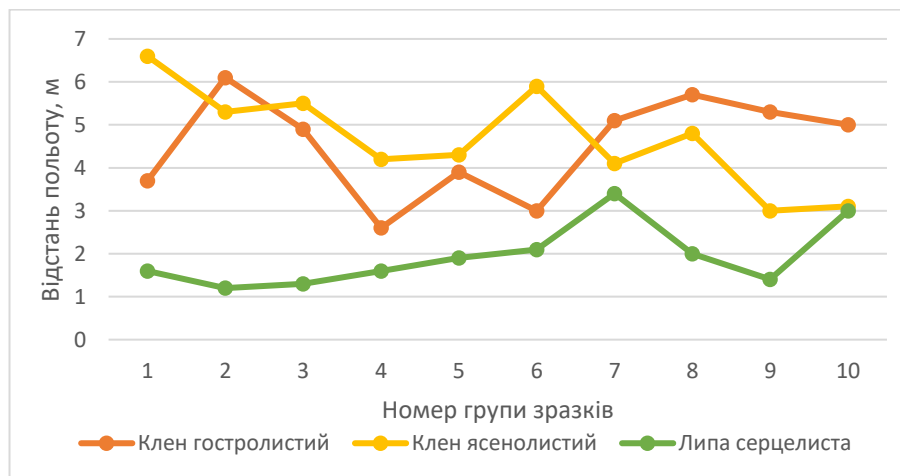


Рисунок 1– Насінневий матеріал із умовно чистої території

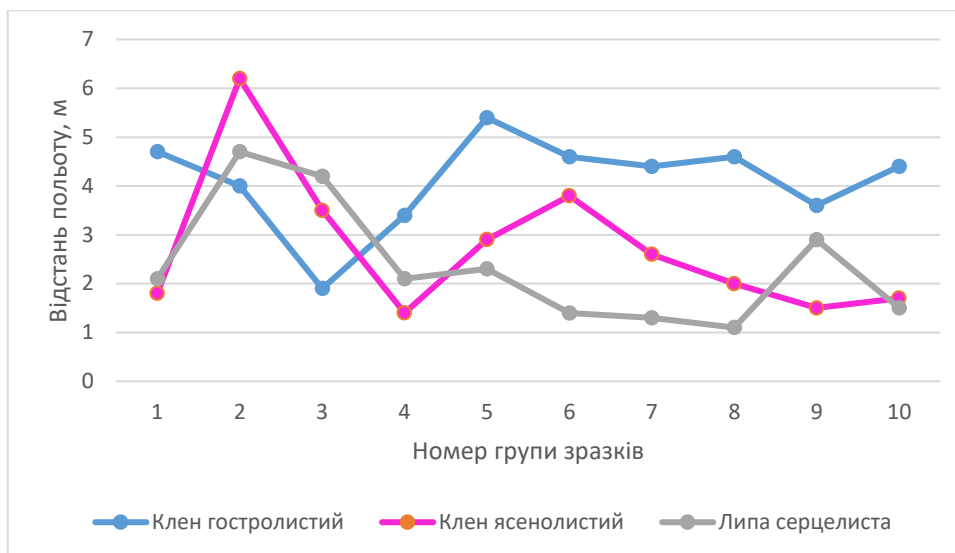


Рисунок 2 – Насіннєвий матеріал із придорожної ділянки

Acer negundo в експериментах продемонстрував досягнення 5-метрової відмітки у 50% випадків, тоді як лише 50% міських зразків пролетіли лише 3 м. Середня відстань польоту зразка з умовно чистої ділянки – 4,68 м, із проспекту – 2,74 м.

У випадку з липою ситуація протилежна: міські зразки майже удвічі перевищили дальність польоту плодів з чистої ділянки. Це зумовлено меншим розміром плодів і може свідчити про успішність обраної стратегії адаптації до міських умов, обраної липою. Але пори це залишається відкритим питання, наскільки успішно проростатиме таке зменшене насіння.

Використані інформаційні джерела

1. Neelkamal, N., Kumari, V., Kamble, S., Golhar, P. and Bhargava, A. (2021). Effects of Air Pollutants on Plants. *Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences*, 2021, 4(1). 18006.
2. Oksanen, E., & Kontunen-Soppela, S. (2021). Plants have different strategies to defend against air pollutants. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 19, 100222.
3. Khan N.C., Chatterjee S., Basak G. et al. (2025). Impact of air pollution on reproductive biology of plants: Mechanisms and consequences. *Plant Stress*, 18, 101119.
4. Bui, H. T., Jeong, M., & Park, B. J. (2024). Particulate matter capture and air pollution tolerance of six roadside plants in Cheongju, South Korea. *Journal of Environmental Science and Management*, 27(1).

*Сафранов Т. А., доктор геолого-мінералогічних наук, професор,
Полушкін Т. І., аспірант*

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
м. Одеса, Україна*

ВІДХОДИ ПЛАСТИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ В ПОТОЦІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ДЖЕРЕЛО ВТОРИННИХ МАТЕРІАЛЬНИХ РЕСУРСІВ

Зростаючі обсяги утворення та накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) на території регіонів України є однією із складових прогресуючого антропогенного навантаження, що створює загрозу екологічній безпеці та здоров'ю населення. Незважаючи на тенденцію скорочення населення України впродовж останніх 20 років, обсяги ТПВ продовжують зростати. Домінуюча частина ТПВ розміщується на полігонах і чисельних сміттєзвалищах, що негативно впливає на природні компоненти довкілля, зокрема на геологічне середовище, ґрунтовий покрив, поверхневі водні об'єкти, повітряний басейн та біоту. З іншого боку, частина ТПВ, зокрема відходи пластикових матеріалів (ВПМ), мають значний потенціал як джерело вторинних матеріальних ресурсів. Із кожним роком проблема виокремлення ресурсоцінних компонентів із загального потоку ТПВ регіонів України стає все більш актуальною, оскільки обсяги ТПВ постійно зростають, а рівень їх утилізації залишається на низькому рівні. Тому розробка та впровадження ефективної системи управління та поводження з ресурсоцінними компонентами ТПВ є ключовою основою для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку регіонів України. На прикладі Одеської області це показано в роботах [1, 2].

Морфологічний склад ТПВ є ключовим фактором для формування ефективної системи поводження з ними, оскільки саме специфіка морфологічного складу зумовлює вимоги до їх збирання та утилізації. Значення цього морфологічного складу суттєво зростає при виборі моделей переробки ТПВ. Однак, в Україні до цього часу не проводилися систематичні дослідження складу ТПВ. Єдиними джерелами статистичних даних є окремі дослідження, проведені операторами ТПВ та відповідними асоціаціями в різний час та в різних регіонах. Результати таких досліджень значно відрізняються. Наприклад, згідно з Шостим національним повідомленням України з питань зміни клімату, до складу ТПВ входять 9-13% відходів пластикових матеріалів ВПМ [3], тоді як

інші дані [4] свідчать про вміст ВПМ у межах 8,7-16,6% (середнє значення – 12,9%) по п'яти містах України.

За даними [5, 6] в регіонах України основними складовими ВПМ є поліетилен (PE), поліетилентерефталат (PETE), полівінілхлорид (V), поліпропілен (PP) та полістирол (PS), а рівень переробки ВПМ складає 35%. В Україні діє приблизно 100 підприємств, що займаються утилізацією ВПМ. Частина з них – це підприємства з тривалим досвідом роботи, які паралельно використовують вторинну сировину, інші – новостворені компанії, спеціалізовані винятково на її переробці.

Територія Одеської області, яка характеризується високим рівнем антропогенного навантаження, характеризується накопиченням значних обсягів різноманітних ВПМ, джерелами генерації яких є житлово-комунальне господарство, промислові та сільськогосподарські підприємства, будівельні об'єкти, а також різні види пакування [7].

Щороку на території Одеської області лише у складі потоку ТПВ накопичується 83291,93 т ВПМ, у т. ч. 28211,27 т відходи поліетилентерефталату (тара для напоїв), поліетилен низької щільності (плівка, пакети), 24911,87 т інші види ВПМ [8]. Основна частка утворення та накопичення ТПВ, а відповідно і ВПМ в їх складі припадає на територію Одеської промислово-міської агломерації та прилеглі райони, де зосереджена основна частка населення, а також розташовані основні підприємства, які займаються утилізацією ресурсоцінних компонентів ТПВ, зокрема ВПМ [8].

Із урахування ліквідності більшої частини ВПМ, щороку з загального потоку ТПВ Одеської області можна отримати вторинну сировину на суму приблизно 0,8 млн гривень, але для цього необхідно створити ефективну систему відокремлення їх від загального потоку ТПВ [2, 7].

Одним із домінуючих серед різноманітних ВПМ є відходи поліетилентерефталат (ПЕТФ), які займають друге місце після відходів поліетиленових ввідходів. Властивості ПЕТФ зумовлюють його істотну роль як у складі пластикових матеріалів та їх відходах. У структурі ВПМ на них припадає 20,4-25 % від їх загальної кількості. Незважаючи на ресурсну цінність відходів ПЕТФ, вони потрапляють на численні звалища і полігони ТПВ, а тому проблема їх ПЕТФ. Для удосконалення поводження з ПЕТФ, пропонується: 1) розташувати спеціальні ПЕТФ-контейнери біля супермаркетів, установ освіти, ТРЦ тощо; 2) працювати з об'єднаннями співвласників багатоквартирних будинків і створити локальні пункти збору ВПМ, зокрема відходами ПЕТФ. у дворах; 3) оголошувати дані щодо збору ВПМ, у т. ч. ПЕТФ, щоб мешканці цих будинків могли бачити результати своїх зусиль та розуміти користь від сортування і роздільного збору. Реальним поштовхом для підняття рівня сортування і роздільного збору ВПМ, зокрема ПЕТФ-пляшок, має бути

впровадження в регіонах України зазразком у країнах ЄС, депозитарної системи збору ПЕТФ-пляшок, як частини відповідальності виробника тари [9, 10].

Іншим домінуючим компонентом ВПМ є поліетилен. Джерелами поліетиленових відходів є: 1) упаковка (поліетиленові пакети, пляшки, та плівка для промислових і побутових товарів); 2) будівельні матеріали – (труби для водопостачання та водовідведення тощо); 3) промислові відходи (обрізки плівок, виробничі браковані матеріали та інші поліетиленові відходи); 4) побутові предмети (іграшки, меблі та інші вироби із поліетилену). Конкретні цифри щодо обсягу відходів поліетилену в Україні відсутні, але відомо, що в країні діють близько 100 підприємств, які займаються переробкою різних видів ВПМ, включаючи поліетиленові відходи. Обсяг відходів та рівень їх переробки залежать від багатьох факторів, таких як обсяг споживання та ефективності системи управління відходами в цілому. Головний мінус цього полімерного матеріалу в тому, що розкладання поліетилену триває до 1000 років. Поліетиленові відходи з легкістю розносяться зі звалищ вітром, потрапляє у поверхневі водні об'єкт. Вони можуть засмічувати водостічні каналізації, викликати загальне забруднення урбанізованих та незаселених територій. Результати досліджень показали, що майже чверть поверхні світового океану займає поліетиленові відходи. Крім того, на його виробництво витрачається понад 4% усієї нафти, що видобувається у світі. Тому відходи поліетилену у потоці ТПВ потребують ефективних методів утилізації.

На підставі проведених нами досліджень, можна зробити такі основні висновки:

- 1) система поводження з ТПВ в Одеській області та інших регіонах України повинна ґрунтуватися на принципах циркулярної економіки та Директиві ЄС 2008/98 «Про відходи», що задекларована у «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року»; 2) щороку з загального потоку ТПВ можна отримати вторинну сировину (на суму майже 0,8 млн. гривень; при цьому не урахувалися ВПМ, джерелами яких є промислові, аграрні та будівельні підприємства Одеської області; 3) відокремлення і наступна утилізація основних ресурсоцінних компонентів ТПВ, зокрема відходів поліетилентерефталату і поліетилену, з загального потоку ТПВ Одеської області сприятиме зменшенню техногенного навантаження на природні складові довкілля і поліпшенню екологічної ситуації; 4) у разі удосконалення існуючої системи збирання та переробки ресурсоцінних компонентів ВМП, що утворюються на території Одеської області, істотна їх частка може бути перероблена на існуючих підприємствах Одеської промислово-міської агломерації; 5) можливості ефективного використання ресурсоцінних складових ВПМ

обмежується низкою причин, у разі усунення яких можна удосконалити існуючу систему управління та поводження з ними, що дозволить зменшити рівень техногенного навантаження на природні складові довкілля і отримати соціально-економічну вигоду; б) у разі удосконалення існуючої системи збирання та переробки відходів пластикових матеріалів, що утворюються на території Одеської області, істотна їх частка може бути перероблена на існуючих підприємствах Одеської промислово-міської агломерації.

Використані інформаційні джерела

1. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Яновський Д. Ю. Ресурсоцінний потенціал потоку твердих побутових відходів Одеської області. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. №32. С. 144–155.

2. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А. Ресурсоцінна складова твердих побутових відходів окремих регіонів України : монографія. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2024. 101 с.

3. Шосте національне повідомлення України з питань зміни клімату. URL: <https://uabio.org/wpcontent/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> (дата звернення 08.11.2025).

4. Семко П. П. Реалії співробітництва бізнесу та органів місцевого самоврядування в галузі поводження з твердими побутовими відходами в Україні та напрями покращення ситуації. URL: <http://greenchamber.org.ua/files/files/2019/TBO/BUSINESS%20REALITIES.pdf> (дата звернення 08.11.2025).

5. Лаптева Ю. Ринок вторинного поліетилену в Україні. *Презентації доповідей Waste Management* – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zE7Y9FwTJHqnusr142cDWpco3awMjab/view?usp=sharing> (дата звернення 08.11.2025).

6. Мартиненко А. Ієрархія поводження з відходами. *Презентація доповідей Waste Management* – 2019. URL: https://drive.google.com/file/d/1yfHOetdNuj9a62SkQi1dvOn_4qH2VEnx/view?usp=sharin (дата звернення 08.11.2025).

7. Сафранов Т. А., Данкевич В. І., Полушкін Т. І. Особливості управління та поводження з відходами пластикових матеріалів на території Одеської області. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти*. Серія «Екологія». 2024. Вип.2. С. 75–82.

8. Регіональний план управління з відходами в Одеській області до 2030 року. URL: <https://ecology.od.gov.ua/regionalnyj-plan-upravlinnya-vidhodamy-v-odeskij-oblasti-do-2030-roku/> (дата звернення 08.11.2025).

9. Полушкін Т. І., Сафранов Т. А. Можливості використання окремих видів відходів пластикових матеріалів у регіонах України. *Екологічні науки*. 2025. № 3(60). С. 173–177.

10. Полушкін Т. І., Сафранов Т. А. Поводження з відходами поліетилентерефталату в регіонах України. *Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України* : Тези Міжнародна наукова-практична конференція «22-26 вересня 2025 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2025. С. 94-96.

*Серга Т. М., аспірантка, асистент,
Голік Ю. С., кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОГОСТІ ТА ЗОЛЬНОСТІ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ І ТОРФУ

Вологість та зольність є одними з ключових характеристик твердих горючих матеріалів, що безпосередньо впливають на теплоту згорання, ефективність спалювання, утворення шкідливих викидів і вибір оптимальних режимів термічного перероблення. Для композиційних палив на основі побутових відходів і торфу визначення цих показників є необхідним етапом при їх підготовці до енергетичного використання.

У роботі здійснено визначення вологості побутових відходів і торфу родовищ Полтавщини термостатичним методом, який заснований на висушуванні наважки палива в сушильній шафі при температурі 105 ± 5 °С до постійної ваги [1]. Попереднє підготування побутових відходів і торфу до експериментального дослідження включало сортування, нормалізацію зразків при кімнатній температурі та подрібнення.

Вагу досліджуваних зразків до та після висушування зважено на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г (рис. 1).



Рисунок 1 – Аналітичні ваги ANG220C [2]

Використовуючи програмне забезпечення Microsoft Excel, результати оброблених даних дослідження вологості наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Усереднені результати визначення вологості побутових відходів і торфу

Показник	Вид палива				
	¹ Папір і картон	² Пластик	³ Текстиль	⁴ Деревина	⁵ Торф
Вологість, %	5,87	2,62	8,41	11,74	4,02

Примітка:

- ¹папір та картон різного розміру та різної щільності непридатний для сортування як сировина через забрудненість;
- ²поліпропілен (PP);
- ³шматки щільної тканини (джинс);
- ⁴дерев'яні вироби;
- ⁵брикетований низинний торф.

Експериментальні дослідження показують, що такі компоненти як деревина (11,74%), текстиль (8,41%) та папір і картон (5,87%) мають найвище значення вологості порівняно з пластиком (2,62%). Це свідчить про своєрідну структуру зразків, що має здатність поглинати вологу. Тому рекомендовано висушувати вищенаведені компоненти перед використанням їх як палива для запобігання зниження теплотворної здатності. Низький вміст води торфу (4,02%) пояснюється тим, що для дослідження останній використовувався у спресованому вигляді.

Також у роботі експериментальним шляхом досліджено зольність побутових відходів і торфу. Зольність досліджуваних зразків визначено за допомогою методу повільного озолення у муфельній печі [3].

Методика визначення зольності побутових відходів передбачає вимірювання кількості неорганічного (мінерального) залишку після повного згорання зразка побутових відходів. Зольність є важливим показником при оцінці енергетичного потенціалу відходів, оскільки зола не згорає і не дає енергії.

Для аналізу та оброблення даних дослідження було використано програмне забезпечення Microsoft Excel. Результати досліджень представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Усереднені результати визначення зольності побутових відходів і торфу

Показник	Вид палива				
	¹ Папір і картон	² Пластик	³ Текстиль	⁴ Деревина	⁵ Торф
Зольність, %	5,01	0,85	1,36	1,23	17,07

Примітка:

- ¹папір та картон різного розміру та різної щільності непридатний для сортування як сировина через забрудненість;
- ²поліпропілен (PP);
- ³шматки щільної тканини (джинс);
- ⁴дерев'яні вироби;
- ⁵брикетований низинний торф.

Аналізуючи дані таблиці 2, зроблено висновок, що найвище значення зольності має торф, який становить 17,07%. Це вказує на значний вміст неорганічних компонентів у торфі. Наступним за величиною показнику є папір і картон (5,01%), який в своєму складі може містити незначну кількість негорючих речовин (рис. 2).



**Рисунок 2 – Вміст золи після прожарювання:
торфу (а) та паперу й картону (б)**

Проаналізовані значення дають змогу зробити висновки, що застосування горючих фракцій побутових відходів і торфу як палива доцільно при їх висушуванні для запобігання зниження теплотвірної здатності.

Використані інформаційні джерела

1. ДСТУ CEN/TS 15414-1:2021 Тверде відновлювальне паливо. Визначення вмісту вологи висушуванням. Частина 1. Загальна волога.
2. Ваги аналітичні Axis ANG 220С до 220 г, дискретність 0,0001 г.
URL: https://enmarket.com.ua/uk/vesy-analiticheskie-axis-ang-220c-do-220-g-diskretnost-00001-g?gclid=Cj0KCQiA6sjKBhCSARIsAJvYcpMCxpCvC4kJBrV7YejbfpF5L-VVYwaTWd-EKnVpPKTEHNAzMOIFjdAaAavyBEALw_wcB&gad_source=1
3. ДСТУ EN ISO 21656:2021 Тверде відновлювальне паливо. Визначення вмісту золи (зольності).

УДК 338.485-021.3:[502.11:574

*Смоляр Н. О., кандидат біологічних наук, доцент,
Глебова А. О., кандидат економічних наук, доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ВІРТУАЛЬНІ ТУРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується загостренням екологічних проблем (забруднення водних ресурсів, кислотні опади, руйнування озонового шару, опустелювання територій тощо), втратою біорізноманіття, деградацією природних екосистем та зростанням антропогенного навантаження на довкілля. Поряд із цим стрімко розвивається цифровізація, яка стрімко трансформує традиційні підходи до комунікацій, бізнесу, освіти, підприємництва, надання державних послуг тощо. Водночас, саме цифровізація не тільки актуалізує окремі екологічні проблеми у контексті сталого розвитку, але й відкриває нові можливості для просвітництва, екологічної культури та збереження біорізноманіття.

Одним із інноваційних інструментів цифровізації є віртуалізація, яка розглядається сучасними науковцями як найсуттєвіша характеристика сучасної соціальної реальності, а інформаційні технології достатньо ефективно можуть замінити людині пряме спілкування з природними, історичними, архітектурними й іншими духовними і реальними об'єктами дійсності [1]. Вона використовується зокрема в освіті, культурі, туризмі, державному управлінні, бізнесі та екологічній діяльності, забезпечуючи нові формати взаємодії людини з навколишнім середовищем. У контексті екологічної проблематики віртуалізація набуває особливої значущості, оскільки дозволяє поєднати інноваційні цифрові рішення з цілями екологічної просвіти, формування відповідального ставлення до природи та збереження біорізноманіття.

Віртуалізація створює умови для опосередкованого, але емоційно насиченого контакту людини з природними об'єктами, екосистемами та заповідними територіями. Завдяки використанню віртуальних турів, 3D-моделювання, VR- та AR-технологій стає можливим ознайомлення широких верств населення з унікальними природними ландшафтами без безпосереднього фізичного втручання в природне середовище, що сприятиме збереженню природного біорізноманіття. Так як, зазвичай, гарні краєвиди або певні історичні пам'ятки знаходяться біля або на території природних парків, заповідників, заказників, які мають унікальну природу, їх часте відвідування може не тільки шкодити, але й

призводити до знищення природного біорізноманіття. Тоді як віртуальні тури дозволяють зменшити антропогенне навантаження на вразливі екосистеми, що особливо актуально для національних природних парків, біосферних резерватів та інших об'єктів природно-заповідного фонду та одночасно ознайомити не тільки з правилами поведінки та біорізноманіттям, але й формувати екологічну поведінку громадян та свідомість через візуалізацію наслідків антропогенного впливу, змін клімату та деградації природних ресурсів.

На сучасному етапі в Україні вже існують відповідні віртуальні тури, інформація по які наведена в таблиці.

Таблиця – Огляд віртуальних турів національними природними парками України (складено авторами)

Назва віртуального туру	Короткий опис	Посилання
Віртуальні тури національними природними парками України (Google)	Серія панорамних 360°-турів національними природними парками України, що демонструють ландшафти, екосистеми та біорізноманіття без фізичного втручання у природу	https://artsandculture.google.com/project/national-parks-of-ukraine
Національний природний парк «Вижницький» – віртуальний тур	Онлайн-екскурсія територією національного природного парку з акцентом на гірські ландшафти, ліси та рекреаційні маршрути	https://vyzhnytskyi-park.in.ua/route/https-vyzhnytskyi-national-park-prostir360-com/
НПП «Сколівські Бескиди» – 3D-тури	Віртуальні подорожі екостежками та лісництвами парку з ознайомленням із природними комплексами Карпат	https://skolebeskydy-park.in.ua/mandruyte/ekotsentramy/
Ukrainian-German Digital Teaching Network	Віртуальні тури: Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, Регіонального ландшафтного парку «Знесіння», Національного природного парку «Білобережжя Святослава», Дендрологічного парку Ботанічного саду при Українському національному лісотехнічному університеті, Природного заповідника «Розточчя», Національного природного парку «Голосіївський»	https://ukrdigital.hnee.de/course/index.php?categoryid=22
Національний природний парк «Синевір» (Закарпаття)	Огляд найбільшого озера Карпат, околиць та краєвидів.	https://synevyr-park.in.ua/3d-tur/
Національний природний парк «Подільські Товтри» (Хмельниччина)	Віртуальний огляд найбільшого в Україні національного природного парку «Подільські Товтри», що входить до семи природних чудес.	https://wownature.in.ua/parkyi-zapovidnyky/natsionalnyy-pryrodnyy-park-podilskitovtry/
A Virtual Ukrainian Road Trip Through Forests	Цифрова подорож українськими лісами з описом екосистем, природних зон і значення лісів для біорізноманіття	https://artsandculture.google.com/story/a-virtual-ukrainian-road-trip-through-forests-ministry-of-culture-and-

		information-policy-of-ukraine/WwUhNMF-ATce0Q
Virtual Ukraine Travel (природні локації)	Платформа з інтерактивними турами Україною, що включає природні та екологічно цінні об'єкти	https://virtualukraine.travel/
Discover.ua – віртуальні тури Україною	Збірка 3D-турів, серед яких представлені природні й ландшафтні об'єкти, доступні для онлайн-перегляду	https://discover.ua/virtual-tours

Аналіз наявних в Україні екологічних віртуальних турів показує, що попри наявність окремих успішних ініціатив, їх кількість та охоплення поки що є обмеженими. За наявності 53 (рис.) національних природних парків лише незначна їх частина представлена у форматі повноцінних віртуальних турів у відкритому доступі. Це свідчить про значний нереалізований потенціал віртуалізації як інструменту екологічної політики, просвітницької діяльності та популяризації природно-заповідного фонду України.

Парки і заповідники України



Рисунок – Парки і заповідники України [2]

Отже, подальший розвиток екологічних віртуальних турів в Україні доцільно розглядати як стратегічний напрям, що поєднує цифрові інновації з цілями збереження довкілля. Масштабування таких практик, інтеграція їх у систему освіти, туризму та державного управління здатні сприяти формуванню екологічно відповідальної поведінки громадян, зменшенню антропогенного навантаження на природні екосистеми та підвищенню рівня екологічної культури суспільства загалом.

Використанні інформаційні джерела

1. Казакова Н. Ф. Аналіз сучасного стану досліджень і розробок в області побудови інформаційно-освітніх середовищ. *Сучасні інформаційні технології в повсякденній діяльності та підготовці юристів* : І молод. наук. конф., 25 березня 2005 р. : матер. Конф., Одеса : ОНЮА. С. 80–84.

2. Офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://wownature.in.ua/oberihaymo/pryrodno-zapovidnyy-fond/?utm_source=chatgpt.com

УДК628.474:66.048

*Соколов А. В., аспірант, Улицький О. А., доктор геологічних наук,
професор, Фролов В. Ф., доктор технічних наук*

*Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та
розвитку України», м Київ, Україна*

ВАКУУМНА ДИСТИЛЯЦІЯ ЯК ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ПЕРЕРОБКИ НАФТОВМІСНИХ ШЛАМІВ ТА ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛ

Основним законом ЄС у сфері управління відходами є «Рамкова директива ЄС про відходи», яка поширюється на всі види відходів та встановлює так звану ієрархію відходів, правила управління з відходами, їх кваліфіковане збирання, утилізацію та переробку [1].

Сміттєспалювальні заводи знайшли широке застосування в країнах з високою густотою населення (ФРН, Японія, Швейцарія, Бельгія та ін.), в більшості розвинених країн переважає термічний спосіб знешкодження ТПВ (так, в Японії спалюється 82% сміття, в США – 81%, в Данії – 78%)

Запропонована авторами технологічна схема з оброблення, переробки та утилізації відходів складається з двох блоків (рис. 1):

- блоку вакуумної дистиляції відходів;
- блоку отримання бітумів заданої марки.

Для нагрівання сировини застосовуються технологічні печі, теплообмінна апаратура.

Блок вакуумної дистиляції відходів.

Відходи з ємностей Е-41, Е-44, Е-45 насосом Н-3 (Н-3а) і по лінії поз.16 надходить в трубчасту піч П-3, де нагріваються до температури близько 420 °С та по лінії поз. 17 надходить у колону К-2/1. У вакуумній насадочній колоні К-2/1 при температурі 400 °С і глибокому вакуумі відбувається поділ сировини на вакуумний газойль та залишковий бітум або гудрон (у залежності від сировини і цільового завдання отримання кінцевого продукту).

Вакуумний газойль зверху вакуумної колони К-2/1 по лінії поз.18 надходить послідовно в трубний простір масляного холодильника Т-4/1 і по лінії поз.19 у трубчастий простір масляного холодильника Т-5/1. У міжтрубний простір холодильників Т-4/1 і Т-5/1 надходить маслохладоагент із ємності Е-64. З холодильника Т-5/1 по лінії поз. 20 вакуумний газойль надходить у водяний холодильник Т-6/1, де охолоджується зворотною водою. Із холодильника Т-6/1 по лінії поз.21 вакуумний газойль надходить у вакуумний сепаратор С-2/1, де

створюється вакуум водокільцевим вакуумним насосом ВН-1. Знизу сепаратора С-2/1 по лінії поз.22 вакуумний газойль надходить на прийом насосу Н-4 та по лінії поз.23 відкачується в проміжні ємкості Е -18,65,66.

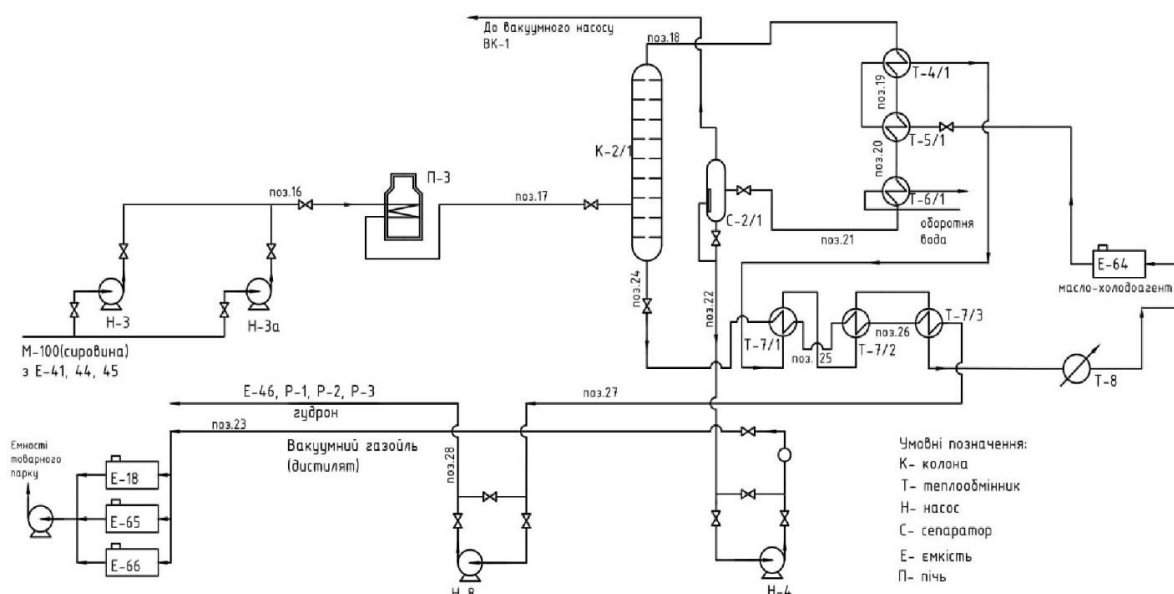


Рисунок 1 – Технологічна схема блоку вакуумної дистиляції

Із нижньої частини вакуумної колони К-2/1 гудрон по лінії поз.24 послідовно надходить в трубний простір масляного холодильника Т-7/1, далі по лінії поз.25 у трубний простір масляного холодильника Т-7/2, далі по лінії поз. 26 у трубний простір масляного холодильника Т-7/3.

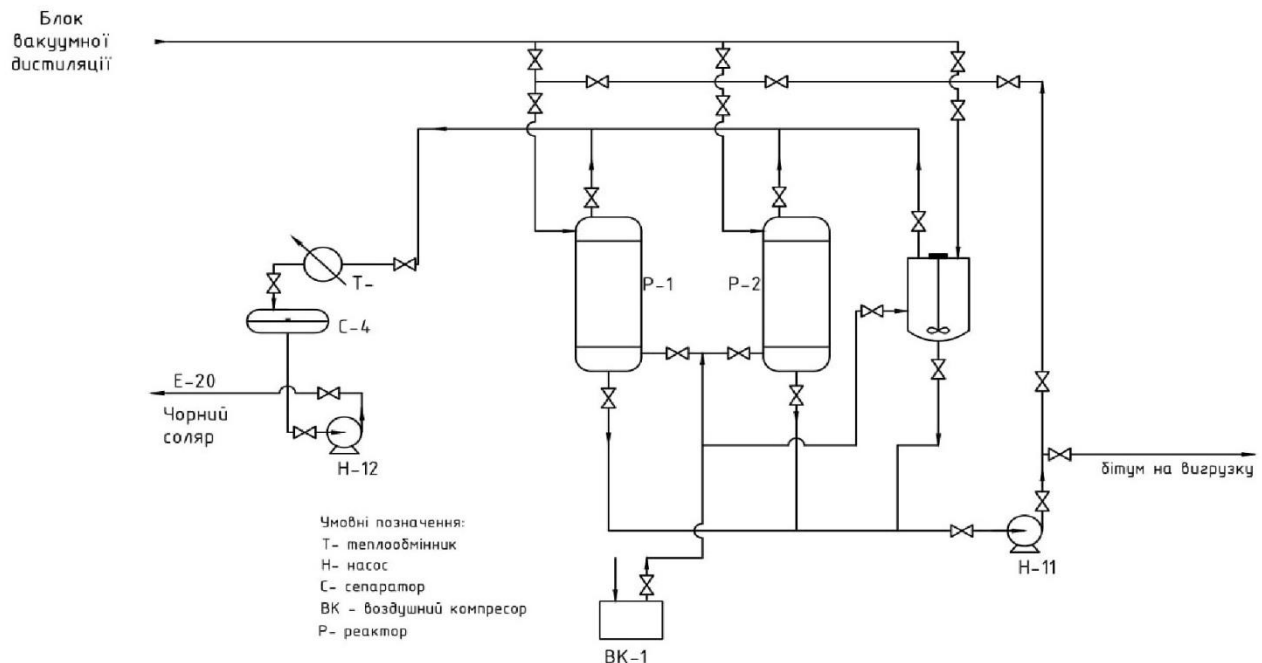
Із холодильника Т-7/3 гудрон по лінії поз.27 надходить на прийом насосу Н-8 та по лінії поз.28 відкачується в підземну ємкість Е-46 або безпосередньо в реактори Р-1(Р-2), Р-3 блоку виробництва товарних бітумів.

У міжтрубний простір масляних холодильників Т-7/1, Т-7/2, Т-7/3 послідовно надходить масло-хладоагент. Нагріте масло із міжтрубного простору холодильників виводиться у водяний холодильник Т-8, де охолоджується водою з системи оборотного водопостачання і надходить в ємність Е-64.

У результаті переробки відходів на блоку вакуумної дистиляції отримуються: гудрон, який використовується для виготовлення бітуму; мазут, фракції оливні широкі, які використовуються для отримання суміші паливної сумішевої з додаванням інших компонентів (за необхідності).

Блок виробництва товарних бітумів.

Гудрон із блоку вакуумної дистиляції з температурою близько 200°C надходить в реактори-окислювачі Р-1, Р-2 або Р-3 обладнаного механічною мішалкою. Після наповнення реактора Р-1, Р-2 налаштовується циркуляція гудрону насосом Н-11 з нижньої частини реактора у верхню. У нижню частину реактора Р-1 подається стиснене повітря від компресора ВК-1. У разі роботи реактора Р-3 по його наповненню включається в роботу механічна мішалка, в низ реактора подається стиснене повітря від компресора ВК-1. Процес окислення гудрону є екзотермічним, температура в реакторах регулюється подачею повітря. Пари і гази з верху реакторів Р-1, Р-2, Р-3 надходять у водяний холодильник Т-11, де конденсуються і надходять в сепаратор С-4. З низу сепаратора С-4 «чорний соляр» насосом Н-12 (Н-12а) відкачується в ємність Е-20 для використання його в якості палива для печі П-3.



Основні фракції:

1. Легкі вуглеводні (дистилят): Вихід $\approx 80-85\%$ від початкового обсягу, що відповідає високоякісному базовому маслу, придатному для повторного використання.
2. Вода та легкі компоненти: Видалені на початковому етапі.
3. Важкий залишок (гудрон): Вихід $\approx 10-15\%$, який є концентрованою сумішшю домішок і може бути використаний як дорожнє покриття або паливо.

Висновки. Вакуумна дистиляція з використанням тонкоплівкового випарника та рекуперацією тепла є енергоефективним та екологічно виправданим методом переробки відпрацьованих мастил. Запропонована оптимізація підвищує економічну привабливість технології, перетворюючи відхід на цінний вторинний ресурс, що повністю

відповідає принципам циркулярної економіки. Вище зазначена технологія передбачує не пряме спалювання сміття, а утворення із відходів паливної сировини, яка може використовуватись як альтернатива звичайній паливній сировині (нафтопродуктам, бурому вугіллю тощо).

Використані інформаційні джерела

1 Директива 2008/98/ЄС про відходи. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text ISSN 2415–3184 Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування.

2 Проблема сміття: від Європи до України Режим доступу <https://www.csi.org.ua/news/problema-smitty-a-vid-yevropy-do-ukrayiny/>

3 Директива 1999/98/ЄС про захоронення відходів. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text

4 Директива 2000/76/ ЄС про спалювання відходів. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text

5 Козій О. І., Петрук М. П., Вахула О. М. Термічне знешкодження твердих побутових відходів: європейський досвід [Текст]. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2015. 120 (1). С. 122–125.

*Тихенко О. М., доктор технічних наук, професор,
Поліщук А. О., здобувач вищої освіти*

*Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
м. Київ, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

Сучасний глобальний економічний простір характеризується наявністю подвійного системного виклику: вичерпання природних ресурсів та критичне техногенне навантаження на довкілля, індуковане кумулятивним накопиченням відходів, зокрема полімерних матеріалів.

Обґрунтування та впровадження інноваційних технологій, що дозволяють замінити первинну сировину високоякісним рециклотом, є критично важливим для збереження обмежених природних запасів та зниження енергоємності виробництва. Перероблення вторинної сировини значно скорочує викиди CO₂ та інших парникових газів порівняно з виробництвом матеріалів «з нуля» (наприклад, алюмінію чи паперу), що прямо сприяє досягненню цілей Паризької угоди та Європейської програми Green Deal.

Існуючі в Україні потужності для перероблення вторинної сировини здебільшого базуються на механічному ресайклінгу, який є ефективним лише для чистих та простих матеріалів (наприклад, деяких типів паперу, скла, чистих поліетиленових плівок). При цьому, він виявляється неефективним для складних, змішаних, багат шарових та сильно забруднених відходів (наприклад, електронний брукт, змішані пластики, PVC), що призводить до їхнього захоронення на полігонах. Ухвалення Закону України «Про управління відходами» (у редакції 2025 року) та імплементація вимог ЄС, зокрема принципів розширеної відповідальності виробника та ієрархії поводження з відходами, вимагає технологічного обґрунтування для досягнення цільових показників ресайклінгу. Саме інноваційні хімічні технології є тим критичним технологічним ланцюгом, який здатний замкнути цикл, перетворивши «складні» відходи на первинну хімічну сировину, що має високу економічну цінність [1-5].

За результатами досліджень встановлено, що механічний ресайклінг є економічно та екологічно вигідним і доцільним методом для перероблення відносно чистих та відсортованих полімерних відходів, зокрема поліетиленової плівки (LDPE та HDPE) [6]. Технологічний процес ресайклінгу є багатоступеневим (сортування, миття, дроблення,

екструзія, грануляція), що забезпечує отримання високоякісної вторинної сировини – регрануляту.

Механічний ресайклінг дозволяє досягти значної економії ресурсів: зниження енергоспоживання на 60-75 % та зменшення вуглецевого сліду приблизно на 66 % порівняно з виробництвом первинного пластику. Незважаючи на переваги, процес генерує вторинні відходи (шлам) у розмірі 15-30 % від вхідної маси, які часто йдуть на полігони. Також він вимагає значного водоспоживання для миття, що потребує впровадження ефективних замкнутих циклів рециркуляції для мінімізації чистого водоспоживання [7].

Встановлено, що для реалізації цілей циркулярної економіки та роботи зі складними, змішаними та сильно забрудненими відходами, які не підлягають механічній переробці, критично необхідним є впровадження інноваційних хімічних методів. Хімічний ресайклінг (деполімеризація, піроліз, газифікація, гідротермальна обробка) є єдиним способом перетворення складних полімерів (наприклад, змішаних поліолефінів, багатошарової упаковки) на цінну первинну хімічну сировину (мономери, піролізне масло), забезпечуючи апсайклінг.

Загалом технології хімічного рециклінгу поділяються на дві основні групи: деполімеризація (для полімерів із чітким хімічним складом, таких як ПЕТ (поліетилентерефталат), ПА (поліамід) та конверсія (для змішаних полімерів, таких як ПЕ (поліетилен), ПП (поліпропілен), ПС (полістирол). [8-9]. Технології деполімеризації передбачають розщеплення полімерів на мономери (табл. 1).

Таблиця 1 – Технології деполімеризації

Технологія	Вид пластику	Принцип та продукт	Інноваційність
Гліколіз	ПЕТ (PET)	Реакція з гліколем (наприклад, етиленгліколем) за високої температури та тиску.	Дозволяє переробляти кольоровий, непрозорий або змішаний ПЕТ, відновлюючи 100% якості.
Метаноліз	ПЕТ (PET)	Розщеплення за допомогою метанолу за високих температур і тиску.	Забезпечує надзвичайно високу чистоту отриманих мономерів.
Гідроліз	ПЕТ, ПА (поліаміди)	Розщеплення за допомогою води (пари) або водно-кислотних/лужних розчинів за високих температур та тиску.	Ефективний для полімерів, що чутливі до гідролітичного розщеплення.

Ензиматична деградація	ПЕТ, ПУР (поліуретани)	Використання спеціалізованих ферментів (біологічних каталізаторів), які «з'їдають» полімерні зв'язки при низьких температурах.	Екологічно чистий, низькотемпературний процес, зберігає довжину та міцність волокон.
------------------------	------------------------	--	--

У таблиці 2 наведені орієнтовні дані, що базуються на порівнянні типового піролізу (як одного з найпоширеніших методів ресайклінгу пластикових відходів) зі спалюванням та первинним виробництвом. Енергоспоживання у хімічному ресайклінгу зазвичай вище, ніж у механічному, оскільки потрібен значний нагрів (до 400-600 °С) для розщеплення полімерів.

Таблиця 2 – Енергоспоживання та вуглецевий слід хімічних технологій ресайклінгу пластикових відходів

Показник	Первинне виробництво (нафта)	Хімічний ресайклінг (піроліз)	Спалювання (енергетична утилізація)
Енергоспоживання (на 1 кг сировини)	≈70-80 МДж/кг	≈25-45 МДж/кг	≈0 МДж/кг
Вуглецевий слід (CO ₂ екв. на 1 кг)	≈6 кг CO ₂	≈1,5-3,5 кг CO ₂	≈3-5 кг CO ₂

Вуглецевий слід піролізу включає енергію, необхідну для процесу, але не включає CO₂, який буде виділений при кінцевому використанні отриманого піролізного масла. Це оцінка, заснована на заміщенні первинного виробництва.

Хімічний ресайклінг має вищий корисний вихід (650 т нафтопродуктів) порівняно з середнім механічним (де 15-30% йде у відходи). Однак, отриманий твердий залишок також вимагає подальшої безпечної утилізації. Хімічні процеси, як правило, не вимагають інтенсивного миття, як механічний ресайклінг, тому водоспоживання є значно нижчим. Вода в основному потрібна для охолодження конденсаторів. Витрати значно менші, ніж при митті.

Головний екологічний виклик хімічного ресайклінгу пластикових відходів – це якість вторинних відходів, а не їхня кількість. При піролізі ПВХ (полівінілхлорид), що часто трапляється у змішаному пластику, відбувається виділення хлоридної кислоти (HCl). Орієнтовно, у 1000 т змішаного пластику може міститися до 2 % ПВХ. ПВХ містить близько 56% хлору за масою. Потенційний обсяг хлору, що може виділитися при хімічному ресайклінгу 1000 т змішаного пластику – 11,2 т. Ці 11,2 т хлору повинні бути нейтралізовані та очищені на місці, щоб запобігти корозії

обладнання та викидам HCl в атмосферу. Це вимагає складних систем очищення та утворює додаткові небезпечні сольові відходи, які потрібно безпечно утилізувати.

Отже, комплексний підхід до ресайклінгу пластикових відходів в Україні має базуватися на інтеграції зрілого механічного ресайклінгу для чистих фракцій (наприклад, плівки LDPE/HDPE) та інноваційного хімічного ресайклінгу для змішаних, забруднених та важкоперероблюваних полімерів. Це забезпечить максимально можливий відсоток повернення матеріалів у виробничий цикл.

Використані інформаційні джерела

1. Закон України «Про управління відходами» від 31.10.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
2. Офіційна сторінка PlasticsEurope. URL: <https://plasticseurope.org/>
3. M. Aizudin, R. Goei, A.J. Ong, Y.Z. Tan, S.K. Lua, R.P. Pottammel, H. Geng, X.L. Wu, A.L.Y. Tok, E.H. Ang. Sustainable development of graphitic carbon nanosheets from plastic wastes with efficient photothermal energy conversion for enhanced solar evaporation. *J. Mater. Chem. A*, 10 (2022). PP. 19612–19617.
4. Plastic pollution. In Encyclopædia Britannica online. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/plasticpollution>.
5. All in plastic. Eastern European Association of the Green. URL: <https://eea-greens.eu/2019/05/16/all-inplastic/>
6. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-%D0%BF#Text>
7. Поводження з полімер-, скло- і металовмісними побутовими відходами [Електронний ресурс] : монографія / І. О. Мікульонок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. С. 86–110. URL: <https://ela.kpi.ua/server-api/core/bitstreams/2d166dd6-8293-4ca9-b574-c08ffc06de64/content>
8. Дрозд О. В. Експертиза відходів руйнації на основі ознак структурної деградації матеріалів та перспективи рециклінгу. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023, Том 34 (73) № 4. С. 176–181. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/28>
9. Hatti-Kaul R., Nilsson L. J., Zhang B., Rehnberg N., Lundmark S. Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics. *Trends Biotechnol.* 2020, 38. PP. 50–67.

*Тихенко О. М., доктор технічних наук, професор,
Рога В. В., здобувач вищої освіти*

*Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
м. Київ, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Енергетична безпека та енергоефективність є критично важливими складовими сталого розвитку сучасного суспільства, особливо в умовах поглиблення енергетичної кризи та необхідності скорочення викидів парникових газів, насамперед вуглекислого газу в атмосферу шляхом переходу до сталих джерел енергії та впровадження енергоефективних технологій.

Складовими енергетичної безпеки домогосподарств є забезпечення стабільного енергопостачання, зниження залежності від зовнішніх джерел та підвищення енергоефективності. Фотоелектричні системи, інтегровані в конструкцію житлових будинків, постають не просто альтернативним джерелом енергії, а стратегічним рішенням для забезпечення енергетичної стійкості.

Встановлено, що сучасні фотоелектричні системи для житлового сектору характеризуються високою ефективністю, зниженою вартістю та швидкою окупністю. Монокристалічні панелі є найпоширеніші для житлових будівель та мають високий коефіцієнт корисної дії, що складає до 22-24 % (тобто, мають найкраще співвідношення продуктивність/площа). В умовах воєнного стану та енергетичної кризи в Україні, масове впровадження фотоелектричних систем може стати важливим фактором підвищення енергетичної безпеки країни та забезпечення сталого розвитку [1–2].

Встановлено, що запроваджений Законом України «Про відновлювану енергетику» механізм «зеленого» тарифу є ключовим стимулюючим фактором для розвитку малих фотоелектричних систем та розвитку розвитку малих сонячних електростанцій. Однак існують певні адміністративні бар'єри, пов'язані з підключенням до енергомережі, які потребують подальшого вдосконалення регуляторної бази.

Аналіз світового досвіду показує стрімке зростання популярності фотоелектричних систем серед приватних домовласників. У 2023 році загальна потужність дахових сонячних електростанцій у світі перевищила 400 ГВт, причому на Європу припадає понад 40 % від цього показника.

Особливо вражаючі темпи зростання спостерігаються в Німеччині, де за підтримки державних програм, понад 1,7 мільйона житлових будинків обладнані фотоелектричними системами (табл. 1). Встановлено, що найбільш успішними є впровадження фотоелектричних систем в регіонах, де поєднуються державна підтримка, розвинена інфраструктура та висока обізнаність населення [3]. У скандинавських країнах, наприклад, незважаючи на нижчі показники інсоляції, рівень впровадження сонячних технологій залишається високим завдяки ефективним механізмам державної підтримки.

Таблиця 1 – Впровадження дахових фотоелектричних систем у Європі (2023 рік)

Країна	Загальна потужність, ГВт	Кількість установок, тис.	Річне зростання, %
Німеччина	78,5	1700	12
Італія	45,2	1100	15
Польща	38,7	600	25
Франція	35,8	850	18

Схема компонентного складу типової фотоелектричної системи для житлового будинку наведена на рис. 1.

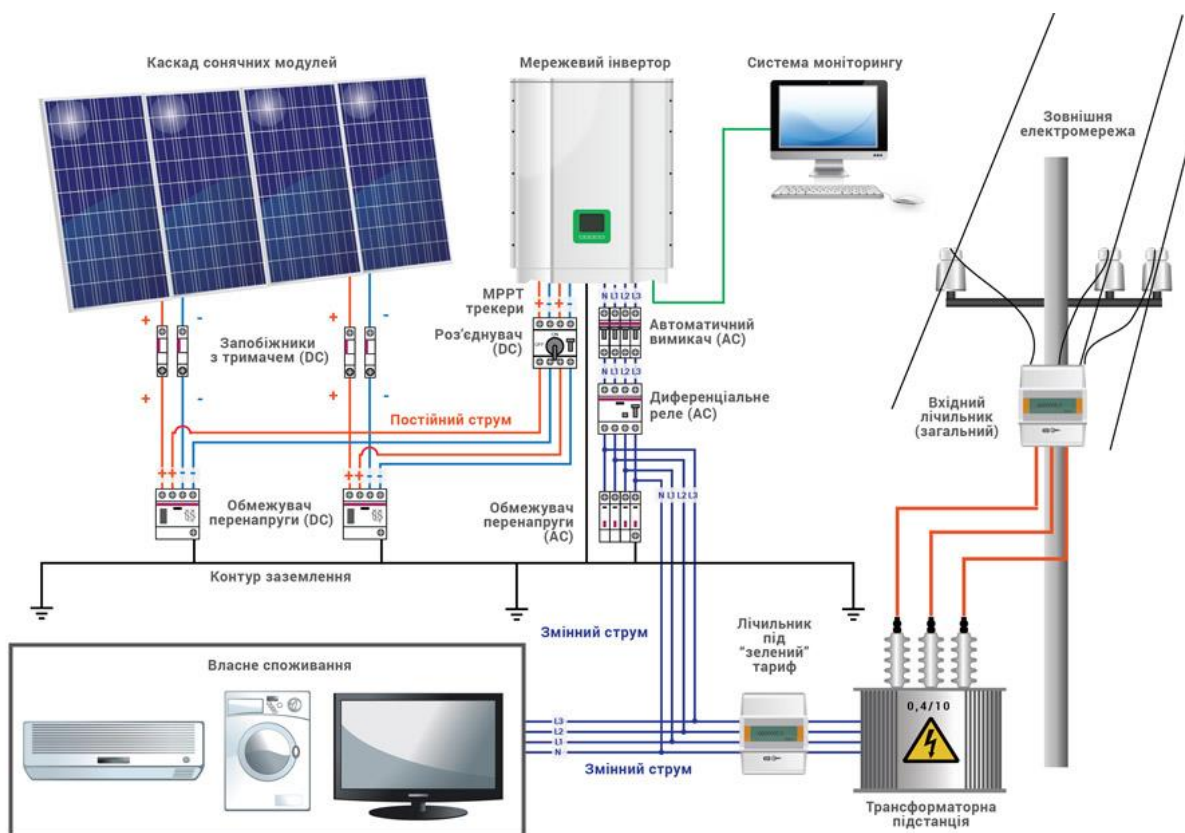


Рисунок 1 – Схема компонентного складу типової фотоелектричної системи для житлового будинку [4]

Екологічна ефективність фотоелектричних систем є предметом численних досліджень. Встановлено, що викиди CO₂ протягом життєвого циклу сонячних панелей становлять лише 40–50 г/кВт·год порівняно з 800-1000 г/кВт·год для вугільної генерації [5]. Для фотоелектричної системи потужністю 5 кВт в умовах невеликого міста це означає зменшення викидів CO₂ на 4-5 тонн на рік.

Також був визначений екологічний ефект від впровадження фотоелектричної тестової системи потужністю 2 кВт, що складалася з чотирьох монокристалічних панелей по 500 Вт. Результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Екологічний ефект від впровадження фотоелектричної системи

Забруднююча речовина	Зменшення викидів, кг/рік
CO ₂	4025
SO ₂	12,8
NO _x	9,3
Пил	3,2
Важкі метали	0,8

Отже, масове впровадження фотоелектричних систем у житловому секторі, підкріплене ефективними державними програмами та усуненням регуляторних перешкод, є важливим фактором підвищення енергетичної безпеки України в умовах воєнного стану та сприяє досягненню цілей сталого розвитку шляхом скорочення викидів парникових газів.

Використані інформаційні джерела

1. Державне агентство енергоефективності України. Аналіз наслідків пошкоджень енергетичної інфраструктури. Київ, 2023. 67 с.
2. European Commission. Energy Efficiency in Buildings [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en
3. Smith J. Energy Security in Conflict Zones: Decentralized Solutions // Journal of Energy Security. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 45–58.
4. Фотоелектричні системи живлення - блискавкозахист та захист від перенапруги. URL: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/poleznyye-sovety/fotoelektrychni-systemy-zyvlennia-blyskavkozachyst-ta-zachyst-vid-perenapruhy/?srsltid=AfmBOoq50Z7T0ACRQz9olbVuioKnY8k4D0MtbwtYdEjL4KEaZhxH8iQ->
5. International Energy Agency. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Paris, 2023. 234 p.

¹*Тищук Д. В., здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,*
^{1,2}*Глущенко Л. А., кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник*

¹*ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»,
м. Миргород, Україна*

²*Дослідна станція лікарських рослин ІАП НААН, с. Березоточа,
Лубенський район, Полтавська область, Україна*

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ВОДНО- БОЛОТНИХ УГРУПОВАНЬ МАЛИХ РІЧОК БАСЕЙНУ РІЧКИ СУЛА

Процес розвитку рослинного покриву в цілому і в умовах водно-болотних комплексів зокрема – це безупинні зміни рослинних угруповань, які визначаються не лише зміною видового різноманіття, а й біопродуктивністю популяцій. Причиною цього явища є еколого-ценотичні впливи, кількісні і якісні, суперечливі і взаємообумовлені зміни абіотичних і біотичних складових довілля. Серед змін різного рангу і походження виділяють основні, що визначають як розвиток рослинного покриву і його життєвість, так і здатність формувати біомасу, зокрема визначає сировинну значущість ценопопуляцій. Серед найвагоміших чинників, які впливають на стан ценопопуляцій лікарських рослин за походженням і характером протікання виділяють: природні, природно-антропогенні та антропогенні.

Природні зміни відбуваються здебільшого під впливом природних чинників. Зміни природного характеру, як в минулому так і нині спостерігаються при заростанні заплавок і прируслових озер, стариць, знижень, тощо. Інтенсивні процеси заростання спостерігаються на обмілілих ділянках з уповільненим стоком і періодичним літнім пересиханням. Якщо процеси заростання відбуваються в межах порушених екотопів, то в даному випадку їх можна розглядати як відбудовні сукцесії, зокрема заростання ставків і меліоративних каналів.

Дослідники, які вивчають зміни природних угруповань стверджують, що всі зміни які відбуваються в угрупованні при взаємодії між компонентами ценозу і навколишнім середовищем, не вільні від антропогенного впливу [1]. Ті природні зміни в рослинних угрупованнях, які спостерігаються на заплавах малих річок басейну річки Сули, мають обмежене поширення й усе більше підлягають антропогенному впливу, трансформуючись у початкові етапи змін екотопів, тобто змін, які, в першу чергу, змінюють умови місцезростання і обумовлюють заміну

одних ценозів на інші. До таких змін варто віднести ті, які спричиняють аридизацію: зниження рівня ґрунтових вод, зменшення кількості атмосферних опадів, зміна температурного режиму, тощо.

Природно-антропогенні зміни виникають під впливом спільної і одночасної дії природних і антропогенних чинників. Вони виявлені дослідниками але залишаються найменш вивченими. До цієї групи змін відносять, відновні зміни, які повною мірою проявляються лише після зняття дії чинника, який спричиняє деградацію. Інтенсивність природно-антропогенних змін нижча і м'якша, ніж природних, оскільки вона послаблюється або компенсується антропогенним впливом. Найбільш поширеними в заплавах є постпірогенні та постмеліоративні зміни [1, 2].

Антропогенні зміни, викликані діяльністю людини, найбільш поширені в межах досліджуваних територій. З своєю суттю всі вони є деградативними. Антропогенний вплив на рослинні угруповання регіону розпочався з освоєння території ще за давніх часів і досяг значних масштабів та високої інтенсивності нині. Проте, не зважаючи на соціально-економічні перетворення природи в регіоні, що, в свою чергу, призвели до змін прируслової рослинності, пріоритетна перетворююча роль належить природно-історичному чиннику. Всі антропогенні зміни мають цілеспрямований характер. За просторово-географічним поділом території виділяються локальні і регіональні сукцесії та зміни [2-4].

Локальний вияв мають оборотні чи повторні та зворотні зміни, викликані, наприклад, бездіяльністю осушувальної системи, що призводить до відновлення колишньої чи подібної до неї рослинності. Частіше зустрічаються регіональні і локальні необоротні або незворотні зміни пов'язані з освоєнням території, а саме: порушенням ґрунтового покриву, будівництвом штучних водойм, доріг, забудовою заплавам.

За способом протікання антропогенні сукцесії розділяють на раптові і малопомітні, коли якісні і кількісні флористичні і ценотичні зміни обумовлюють заміну одних ценозів на інші. Швидкість протікання змін пов'язано з біотопом, із змінами умов зростання рослин. За тривалістю протікання виділяють зміни короткочасні, з терміном тривалості 1-10 років, середньо тривалі – 15-20 років, і довготривалі – 35 років і більше. За силою антропогенного впливу розрізняють – інтенсивні і екстенсивні зміни.

Нині важливого значення набуває проблема прогнозу розвитку рослинності, як на найближчий час, так і на перспективу, що надає змогу провести аналіз розвитку ценопопуляцій та спрогнозувати використання сировинних ресурсів впродовж тривалого періоду. Виходячи із цього, більшість дослідників виділяє специфічну категорію прогнозних змін. Такі зміни виникають у межах цілеспрямовано намічених перетворень через регулювання впливу природних чинників і соціально-економічних дій на розвиток рослинних угруповань. Прикладом слугує регламентація

використання заростей *Typha* L., *Scirpus* L., *Carex* L., сінокісних угідь на заплавах малих та середніх річок.

Прогнозні зміни – це зміни майбутньої програмованої рослинності певної території. До них відносять флористичні і ценотичні зміни природоохоронних, рекреаційних об'єктів, а також зміни вивільнених антропогенно-порушених територій із метою їх оптимізації.

Зміни рослинності заплавл малих річок басейну річки Сули спричинені різноманітними чинниками і їх поєднаннями. Нині все частіше відбуваються катастрофічні зміни. Такий вплив на заплаву рослинність мають суцільні вирубки, розорювання та забудова прируслових схилів. Ці зміни суттєво впливають на умови екотопу: спрощується структура угруповань, змінюється видовий склад (гідрофіти і гігрофіти попередніх угруповань сильно пригнічуються або й зовсім випадають із травостою).

Рекреаційне навантаження відчутне у всьому басейні річки Сула, особливо помітні його руйнівні наслідки поблизу міських населених пунктів (районних центрів Сумської і Полтавської областей – міста Ромни, Лубни, Оржиця) у районах туризму (місця відпочинку, рибальства, стоянок байдарочників), стаціонарних зонах відпочинку (санаторії, бази відпочинку, дитячі табори, туристичні бази), місцях збору ягід (*Rubus fruticosus*, *Rubus idaeus*, *Ribes nigrum*, *Viburnum opulus*), лікарської рослинної сировини (заготівля кореневищ та коренів рослин), технічної сировини (заготівля *Typha*, *Scirpus*, *Carex*) та кормів (сіна, гіллячкового корму). Рекреаційні зміни за характером впливу належать до деградаційних, що обумовлює кількісні і якісні регресивні зміни заплавл, які вивчені локально і за дією є коротко – і довгостроковими. Для досліджуваної території характерною рисою є потужний пасквальний пресинг як на угруповання прируслових терас, так і на водну-і водно-болотну рослинність. Традиційно зазначені землі використовувалися як громадські пасовища та сінокісні угіддя. Колективна власність, відсутність науково-обґрунтованого розрахунку експлуатаційного навантаження особливо в межах населених пунктів призвело до незворотних змін рослинного покриву – пасовищного збою, заростання пасовищ рудеральними та адвентивними видами рослин, такими як: *Carduus crispus* L., *Cirsium vulgare* (Savi) Jen, *Cirsium palustre* (L.) Scop., *Cyrlachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen, *Xanthium spinosum* L. тощо. Локально поширеним явищем залишається вільне утримання та випасання водоплавної птиці, що призводить не лише до знищення наземної трав'янистої рослинності, а й до порушення та знищення водної та прибережної рослинності та забруднення води. Використання малих річок і відкритих водойм заплавл для водопою великої і дрібної рогатої худоби, також призводить до руйнування рослинності, а подекуди і берегів у місцях підходу тварин до води. Відновлення рослинних

угруповань при пом'якшенні навантаження відбувається вкрай повільно, в переважній більшості випадків – без втручання людини взагалі не відбувається.

На заплавах малих річок дедалі помітнішими стають зоогенні зміни, зокрема помітним став вплив *Castor biber* та *Ondatra zibethicus*, які не лише прямо, а й опосередковано через зміни екотопів впливають та фітоценози. Помітні зміни вносять своєю кормовою активністю і *Sus scrofa*.

Отже, природні, природно-антропогенні та антропогенні чинники є основними чинниками, які впливають на стан ценопопуляцій лікарських рослин як за походженням, так і за характером протікання.

Тобто, ресурсний потенціал виділених 87 видів лікарських рослин мезогемеробних екотопів визначається як природними умовами, так і дією антропогенного впливу, зокрема шляхом дією на продуктивність та видове багатство рослинного покриву заплавних ділянок малих річок басейну річки Сули [5]. Визначено основні чинники впливу на сировинні ресурси більшості лікарських рослин, серед яких: порушення гідрологічного режиму, розорювання і перевипас, рекреаційне навантаження. Сила їх дії залежить від інтенсивності господарського використання території, наслідком чого є трансформація і деградація рослинного покриву – фрагментарність, строкатість, перегрупування та зміна фітоценотичної структури, утворення вторинних антропогенно-порушених екотопів із характерною рослинністю, а подекуди і їх повне знищення, зокрема у разі забудови берегової зони. Основним пріоритетом у відновленні всіх елементів річкової мережі має виступати збереження та відтворення природної рослинності, тобто, всебічне вивчення у кожному регіоні дикорослих рослин, їх видового різноманіття, стану рослинних угруповань і популяцій окремих видів, передусім цінних у господарському відношенні, які широко використовуються людиною, виявлення рідкісних та зникаючих видів, які потребують першочергової охорони. Проте, це неможливо зробити без попередньої оцінки сучасного стану, змін та прогнозів на флористичному, фітоценотичному та екологічному рівнях.

Проблема охорони водно-болотної рослинності в сучасних умовах належить до однієї з найважливіших і невідкладних. Саме відновлення природного стану долин малих річок і підтримання його, сприятиме покращенню екологічної ситуації в регіоні, а також збереженню природної та культурної спадщини регіону.

Використані інформаційні джерела

1. Екологія водно-болотних угідь і торфовищ : збірник наукових статей ; гол. редактор В. В. Коніщук. К. : ДІА, 2013. 300 с.

2. Андрієнко Т. Л., Байрак О. М. Болота по Сулі. *Заповідна краса Полтавщини*. Полтава: Астрєя, 1996. С.99–102.

3. Водно-болотні угіддя України: довідник ; за заг. ред. Г. Б.Марушевського і І. С. Жарук. К. : Чорноморська програма Wetlands International. 2006. С. 213–221.

4. Рослинний та тваринний світ пониззя річки Сули ; за заг. ред. Клєстова М. Л. та Гальченко Н. П. К. : Фітосоціоцентр, 2016. 240 с.

5. Соломаха В. А. Синтаксономія рослинності України. К. : Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.

Фролов В. Ф., доктор технічних наук, Яковлев І. О., аспірант

Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», м. Київ, Україна

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ОЗОНОМ: СТАРІ ПРОБЛЕМИ І НОВА ГІПОТЕЗА

Загальновідомо, що якість води є важливим фактором для забезпечення благополуччя людини та навколишнього середовища. Чиста вода необхідна для підтримки життя, здоров'я та добробуту людей. Однак сучасні методи очищення води часто не здатні повністю видалити всі забруднюючі речовини та мікроорганізми, які можуть бути присутніми у воді. У зв'язку з цим існує велика потреба у розробці нових ефективних методів очищення води. Одним із таких методів є озонування води для знищення мікроорганізмів та інших забруднювачів.

Традиційні технології озонування, а саме борбрування води стикаються з рядом проблем, такими як низька розчинність озону у воді, утворення токсичних побічних продуктів та високі енергетичні витрати. У зв'язку з цим, виникає необхідність у нових технологічних рішеннях.

Запропонований автором новий метод озонування, заснований на принципі «вода в озон, а не озон у воду», має потенціал значно підвищити ефективність знезараження, зменшити витрати на енергію та знизити ризик утворення небезпечних відходів озонування.

Дослідження підтверджує, що новий метод із використанням озонового реактору зворотно-зустрічної дії (ОРЗЗД), забезпечує глибоке очищення води від забруднень та високий ступінь знезараження. Результати випробувань свідчать про його високу ефективність у порівнянні з традиційними методами. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію технології та її впровадження у муніципальні системи водопостачання та обробки стічних вод, знезараження води для гігієнічних та оздоровчих процедур, що має значний соціальний та екологічний ефект. Новий метод озонування може допомогти ефективно очистити стічні та оборотні води, зменшити забруднення води та покращити стан навколишнього середовища.

Запропонований автором новий метод озонування безпосередньо пов'язаний з вирішенням важливої науково-практичної проблеми у галузі водопідготовки – підвищення її ефективності. Метод, заснований на принципі «вода в озон, а не озон у воду» є інноваційним для процесу обробки води озоном. Застосування даного методу підвищує ефективність знезараження води, зменшує витрати, при тих же об'ємах

зnezараженої та очищеної води, та знижує ризик утворення небезпечних відходів. Впровадження данного методу озонування води на практиці, стане важливим кроком вперед у розвитку екологічно чистих технологій, які відповідають сучасним вимогам охорони навколишнього середовища.

Таким чином, дослідження автора не тільки відповідає на існуючі виклики у галузі водопідготовки, але й відкриває нові перспективи для досліджень і практичних застосувань, що мають значний соціальний, економічний та екологічний ефект.

Проведенні науково-практичні дослідження і отриманні результати дозволяють автору висунути робочу гіпотезу: новий метод озонування, а саме проходження диспергованої води через повітряно-озонову суміш у ємності реактора, дозволяє отримати кращі показники зnezараження води і усунути проблеми (принципові труднощі) [3] традиційного методу барботування води озоном.

Науково-практичні дослідження підтвердили ефективність нового методу озонування, який дозволяє досягти кращих показників зnezараження води у порівнянні з традиційним методом барботування. Новий підхід дозволяє усунути основні недоліки існуючих технологій і забезпечує гарантований антимікробний бар'єр. Запропонований метод озонування має потенціал для широкого впровадження у системах водопостачання та обробки стічних та оборотних вод. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію технології та розширення її застосування для різних типів води.

Використані інформаційні джерела

1. Manasfi T. Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *Comprehensive Analytical Chemistry. Elsevier*. 2021. № 92. P. 85–116. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>.

2. Joshi S., Kumari A. Ozonation and its Application in Wastewater Treatment. *International Journal For Multidisciplinary Research*. 2023. № 5. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i06.8814>

3. Іванько О. М., Бабієнко В. В., Кримець Г. В. Зnezараження стічних вод – сучасний погляд на проблему. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2013. № 2(32). С.54–63.

4. Martinelli M., Giovannangeli F., Rotunno S., Trombetta C.M., Montomoli E. Water and air ozone treatment as an alternative sanitizing technology. *J Prev Med Hyg*. 2017. №58(1):E48-E52. PMID: 28515631; PMCID: PMC5432778.

5. Remondino M., Valdenassi L. Different Uses of Ozone: Environmental and Corporate Sustainability. Literature Review and Case Study. *Sustainability*. 2018. № 10(12):4783. <https://doi.org/10.3390/su10124783>.

6. Niu D., Wang X., Chen X., Ding L., Yang J., Jiang F. Optimized dosage control of the ozonation process in drinking water treatment. *Measurement and Control*. 2021. № 54(5-6) : 692-700.
<https://doi.org/10.1177/00202940211007164>.
7. Wei Chaohai, Zhang Fengzhen, Hu Yun, Feng Chunhua Wu Haizhen. Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application. *Chemical Engineering*. № 33(1). 2017. P. 49–89.
<https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>.
8. Morrison C. M., Hogard S., Pearce R., Mohan A., Dickenson E.R.V., Urs von Gunten, Wert E. C. Critical Review on Bromate Formation during Ozonation and Control Options for Its Minimization. *Environmental Science & Technology*. 2023. № 57 (47), 18393–18409.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00538>.
9. Schuman E., Bisschops I., Riedijk X., Wilt A. Literature study on oxidation products. 2022. URL: <http://surl.li/aeuoh/> (дата звернення 13.11.2024).
10. Спосіб очищення та знезараження води озонуванням: пат. 155164 Україна: МПК6 C02F1/78, № u202302714; заявл. 05.06.23; опубл. 24.01.24, Бюл. № 4/2024.

*Шарий Г. І., доктор економічних наук, професор
Козлов В. В., аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»*

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЗЗ ДЛЯ ФІКСАЦІЇ ОЗНАК ЕКОЦИДУ ТА ОЦІНКИ ЗБИТКІВ ЗА НАЦІОНАЛЬНИМИ МЕТОДИКАМИ

Сучасний етап збройної агресії проти України характеризується безпрецедентним за масштабами та інтенсивністю негативним впливом на навколишнє природне середовище, що актуалізує питання кваліфікації цих дій як екоциду та розробки дієвих механізмів оцінки завданих збитків. За даними Офісу Генерального прокурора, озвученими під час роботи Міжнародної робочої групи щодо екологічних наслідків війни, близько 30% території держави, що становить 174 тис. км², є потенційно забрудненими вибухонебезпечними предметами, а понад 2,4 млн га лісових насаджень зазнали пошкоджень різного ступеня тяжкості [1]. В національному законодавстві, згідно зі статтею 441 Кримінального кодексу України, екоцид визначається як масове знищення рослинного або тваринного світу, отруєння атмосфери або водних ресурсів, а також вчинення інших дій, що можуть спричинити екологічну катастрофу. Це визначення охоплює сутність дій, що призводять до катастрофічних наслідків, проте на практиці виникають значні складнощі з доказовою базою через наявність оціночних суджень у складі злочину. Такі критерії, як «масове знищення», «екологічна катастрофа» чи «довготривалість змін», не мають чітко визначених кількісних меж у кримінальному праві, що дозволяє стороні захисту або державі-агресору заперечувати наслідки своїх дій.

Ключовою проблемою правозастосування та економічної оцінки наслідків війни є складність фізичного доступу до уражених територій для проведення інструментально-лабораторних досліджень. Екологічний та антропогенний ризику важко визначити за допомогою традиційної калькуляції, оскільки багато наслідків мають відкладений у часі характер.

Основним нормативно-правовим актом, що регулює питання оцінки збитків земельним ресурсам в умовах воєнного стану, є «Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій», затверджена Наказом Міндовкілля від 04.04.2022 № 167 [2].

Ця методика виступає фундаментальним юридично-економічним інструментом, що дозволяє розглядати ґрунт як актив, вартість якого знизилася через негативний вплив. Алгоритм розрахунку шкоди від забруднення ґрунтів базується на формулі, де ключовим просторовим показником є площа земельної ділянки, ґрунти якої зазнали забруднення. Аналогічний підхід, де площа виступає базовим множником, застосовується при оцінці шкоди від засмічення земель та розрахунку вартості рекультивації.

Саме параметр площі ураження є тією змінною, яка визначає масштаб фінансових претензій, і для його об'єктивного визначення критично важливим стає використання технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Методика № 167 прямо передбачає можливість встановлення фактів забруднення та засмічення, а також їх масштабів шляхом аналізу даних ДЗЗ.

Для отримання верифікованих даних про стан підстилаючої поверхні доцільно використовувати супутникові знімки Sentinel-2 з рівнем обробки L2A (Bottom-of-Atmosphere), які надають дані про відбивну здатність поверхні з корекцією атмосферного впливу. Висока просторова роздільна здатність та наявність спектральних каналів у видимому (Red) та інфрачервоному (NIR, SWIR) діапазонах дозволяють розраховувати спеціалізовані індекси для діагностики ознак екоциду [3]. Для виявлення прихованої деградації та хімічного отруєння ґрунтів («отруєння ресурсів») застосовується Нормований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), а для фіксації фізичного знищення ландшафтів (пожежі, вирви) – Нормований коефіцієнт вигорання (NBR). Практична апробація запропонованого підходу була здійснена на прикладі ділянки лісового фонду площею 379,9 га, розташованої північніше с. Серебрянка Луганської області. Аналіз часових рядів за період 2020-2025 років дозволив виявити критичні зміни у стані екосистеми. Результати комплексного розрахунку індексів NDVI та NBR на основі знімків Sentinel-2 L2A наведено в таблиці.

Аналіз даних таблиці 1 демонструє чітку кореляцію між зниженням біологічної активності та фізичним руйнуванням ландшафту. У довоєнний період (2020-2021 рр.) середні значення NDVI становили 0,62-0,67, а NBR – 0,45-0,48, що свідчило про стабільний гомеостаз лісової екосистеми. Починаючи з 2022 року, спостерігаються ознаки стресу, які переросли у катастрофічне падіння показників у 2024-2025 роках. Як видно з візуалізації просторового розподілу вегетації на рисунку 1, індекс NDVI впав до рівня 0,30, що вказує на біологічну смерть значної частини лісового масиву.

Це падіння не може бути пояснене кліматичними факторами, оскільки супроводжується переходом індексу NBR у від'ємні значення (від -0,05 до 0,02).

Таблиця – Комплексна динаміка спектральних індексів NDVI та NBR (2020-2025)

Рік	Дата зйомки	NDVI (середній)	NBR (середній)	Інтерпретація стану території
2020	12.07	0,62	0,45	Добре розвинена лісова рослинність, висока фотосинтетична активність. Ознаки пожеж відсутні.
2021	12.07	0,67	0,48	Легка природна варіабельність, максимальне накопичення вологи в біомасі.
2022	27.06	0,61	0,41	Початкові ознаки стресу, незначне зниження вологості, можливий локальний вплив.
2023	07.07	0,57	0,25	Початок деградаційних процесів. Значне падіння NBR вказує на пошкодження крон або всихання.
2024	06.07	0,31	-0,05	Критичне зниження обох індексів. Від'ємний NBR свідчить про знищення рослинності вогнем/вибухами.
2025	11.07	0,30	-0,02	Стан залишається критичним. Відсутність відновлення, наявність згарищ та мертвої деревини, вторинна сукцесія (заростання травою) ще не почалася.

Картошхема пошкоджень, побудована на основі індексу NBR (рис. 2), підтверджує фізичний механізм знищення: від'ємні значення є маркером наявності відкритого ґрунту, попелу та згарищ, що утворилися внаслідок інтенсивних бойових дій. Синхронне падіння обох індексів доводить, що деградація викликана не сезонною посухою, а комбінацією механічного знищення (вибухи, пожежі) та хімічного забруднення, яке блокує процеси регенерації. Відсутність позитивної динаміки відновлення у 2025 році свідчить про довгостроковий характер завданої шкоди та стан екологічного шоку території.

Таким чином, проведене дослідження підтверджує, що технології ДЗЗ з використанням даних Sentinel-2 L2A є безальтернативним інструментом для об'єктивної фіксації екологічних злочинів.

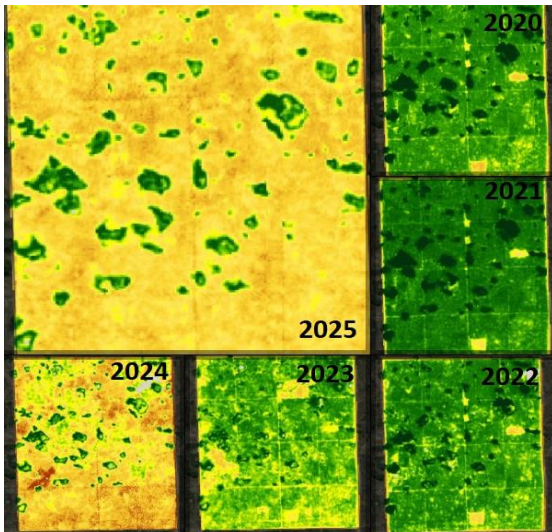


Рисунок 1 – Просторово-часова динаміка деградації рослинного покриву (індекс NDVI) на території Серебрянського лісництва за даними супутникового моніторингу Sentinel-2 L2A (2020-2025 рр.)

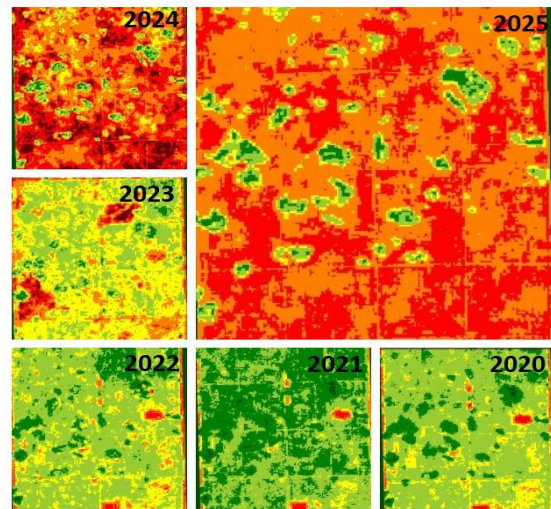


Рисунок 2 – Просторово-часова динаміка деградації рослинного покриву (індекс NDVI) на території Серебрянського лісництва за даними супутникового моніторингу Sentinel-2 L2A (2020-2025 рр.)

Комплексне використання індексів NDVI та NBR дозволяє сформуванню науково обґрунтованої доказової бази, яка підтверджує наявність ознак екоциду: масовість знищення (через розрахунок площ ураження), якісну деградацію (через падіння фотосинтетичної активності) та довготривалість наслідків. Отримані просторові дані про площі пошкоджених ділянок є необхідною умовою для застосування формул Методики № 167, що дозволяє трансформувати екологічні збитки у фінансовий еквівалент для подальшого стягнення репарацій.

Використані інформаційні джерела

1. Стрельцова О., Казбанова Д. Екоцид та злочини проти довкілля: міжнародно-правові та національні аспекти. *Věda a perspektivy*. 2024. № 3(34). С. 51–62. DOI: 10.52058/2695-1592-2024-3(34)-51-62. URL: <https://perspectives.pp.ua/index.php/vp/article/view/9993> (дата звернення: 04.11.2025).

2. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану : наказ М-ва захисту довкілля та природних ресурсів України від 04.04.2022 р. № 167. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22> (дата звернення: 04.11.2025).

3. Escuin S., Navarro R., Fernández P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*. 2007. Vol. 28, № 5. P. 1053–1073. DOI: 10.1080/01431160701281072.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ Й ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

УДК 661.175-027.45:502.2]:621.311.243

*Євтушенко Е. О., аспірант,
Кутний Б. А., доктор технічних наук, професор,
Чернецька І. В., кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ СПИРТОВИХ РОЗЧИНІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ТЕПЛОНОСІЇВ ДЛЯ ГЕЛІОСИСТЕМ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підвищення ефективності геліосистем і зменшення їх екологічного впливу є одним із ключових завдань сучасної відновлюваної енергетики. Значною мірою це завдання визначається вибором теплоносія, який має забезпечувати надійну роботу системи в широкому діапазоні температур, зокрема в умовах високої інтенсивності сонячного випромінювання та можливих режимів стагнації. Як показано в роботах [1, 5], традиційні водно-гліколеві теплоносії мають низку недоліків, пов'язаних із термічною деградацією, токсичністю та необхідністю застосування складних систем захисту від перегріву.

Перспективним підходом до підвищення надійності та енергетичної ефективності геліосистем є використання теплоносіїв із температурою кипіння нижче 95 °С. За таких умов під час досягнення граничних температур відбувається контрольоване закипання теплоносія, його часткове випаровування та витіснення рідкої фази в розширювальний бак, що призводить до тимчасового припинення циркуляції без застосування дорогої автоматики захисту від стагнації. Такий підхід дозволяє принципово змінити характер роботи геліосистем у режимах високих теплових навантажень і стагнації та знизити вимоги до матеріалів трубопроводів, що сприятиме зменшенню капітальних витрат та матеріалоємності геліосистем [1].

Із позицій екології та сталого розвитку особливий інтерес становлять теплоносії, які є менш токсичними для довкілля та людини порівняно з традиційними синтетичними водно-гліколевими сумішами. У цьому контексті спиртові розчини можуть розглядатися як потенційно екологічно безпечні альтернативні теплоносії, властивості яких можуть цілеспрямовано змінюватися шляхом підбору концентрації та введення функціональних присадок [3]. Фізико-хімічні закономірності впливу

складу розчину на температуру кипіння та фазову поведінку органічних систем достатньо добре описані в фундаментальних працях [2, 6], що створює надійну теоретичну основу для експериментальних досліджень.

Окремі експериментальні роботи підтверджують можливість модифікації термофізичних властивостей спиртових теплоносіїв за рахунок введення присадок, зокрема з метою зниження температури кипіння та оптимізації режимів теплопереносу [4]. Використання таких модифікованих робочих рідин у сонячних теплових системах розглядається як ефективний шлях підвищення їх теплової продуктивності та експлуатаційної надійності[5].

У зв'язку з цим, актуальним є проведення експериментальних досліджень спиртових розчинів різної концентрації, а також спиртових розчинів із присадками, із метою визначення температури їх кипіння та оцінки можливості застосування як альтернативних теплоносіїв для геліосистем.

Для виявлення впливу складу спиртових розчинів на температуру їх кипіння у лабораторії «Зеленої енергетики» кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики авторами було створено дослідну установку [7]. Конструкція була вдосконалена таким чином, щоб можна було оперативно замінювати теплоносії, а їх нагрівання замість інфрачервоного обігрівача здійснювалося спіраллю, підключеною до електричної мережі через лабораторний трансформатор для плавної зміни кількості підведеної теплоти. Проведено серію дослідів для визначення граничної температури, при якій починається кипіння водних розчинів із різною концентрацією спирту в діапазоні тисків від 0 до 2 кг/см². Узагальнені результати низки проведених досліджень спиртових розчинів різної концентрації без домішок представлені на рисунку 1.

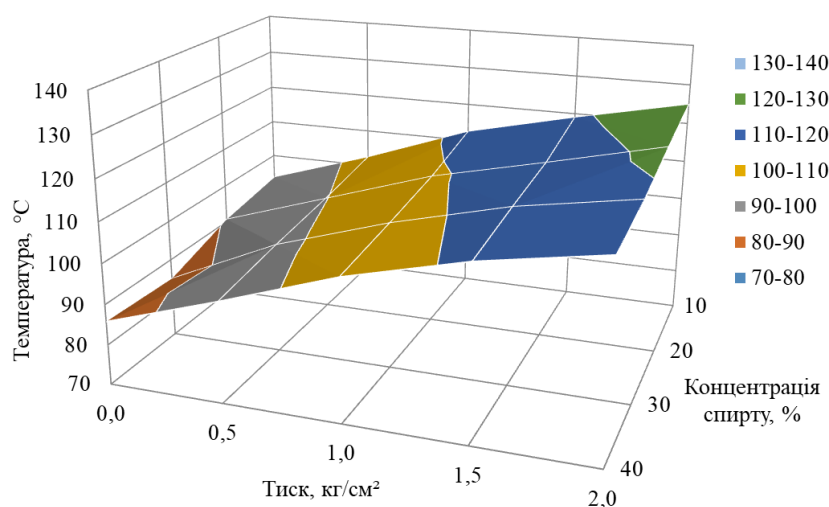


Рисунок 1 – Залежність температури кипіння спиртових розчинів різної концентрації від тиску на основі експериментальних даних

Як видно з графіка, зображеного на рисунку 1, температура кипіння розчину зменшується при зростанні концентрації спирту та зниженні тиску в системі, що є закономірним й узгоджується з теоретичними даними [2, 6]. Отже, за даними експериментальних досліджень із розглянутих альтернативних теплоносіїв для досягнення поставленої задачі вибору екологічно безпечного розчину з температурою кипіння менше 95 °С у робочому діапазоні тисків 0,1-0,5 атм перспективними є лише водні розчини з концентрацією спирту 40%.

На основі вивчення термодинамічних властивостей та екологічної безпечності речовин, потенційно придатних до використання у якості функціональних домішок для отримання необхідної температури кипіння при менших концентраціях спирту було прийнято рішення почати експериментальні дослідження з етилацетату. Відомо, що він має температуру кипіння близько 77°С за нормального атмосферного тиску, високий тиск насиченої пари, достатню розчинність у воді для створення стабільних багатокомпонентних систем у малих концентраціях і добре змішується із спиртами. За малих масових часток у суміші етилацетат може служити модифікатором фазового переходу, дозволяючи тонко налаштовувати температуру початку кипіння без різкої зміни інших теплофізичних параметрів розчину. Отже, для пробного експерименту було обрано 20% розчин спирту з додаванням 4% етилацетату. Результати проведених дослідів представлені на рисунку 2.

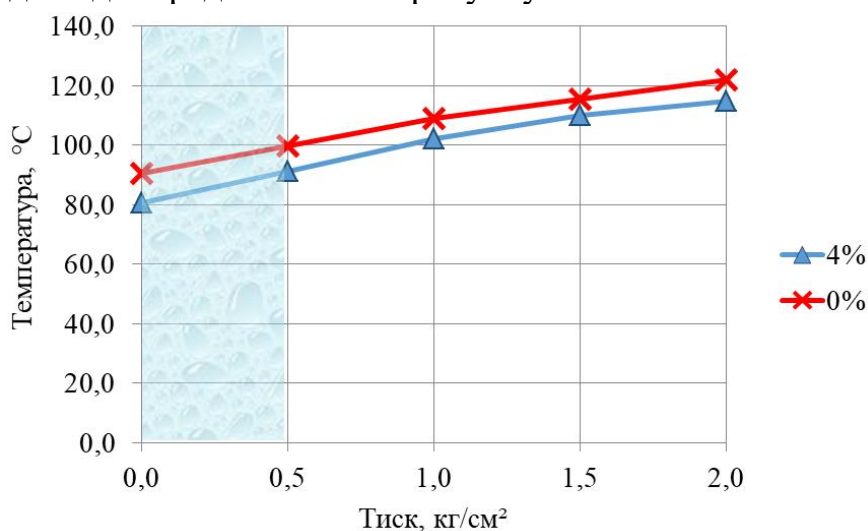


Рисунок 2 – Порівняння температури кипіння 20% розчину спирту з додаванням 4% етилацетату та без нього при різних тисках на основі узагальнених експериментальних даних

Як видно з рисунка 2, при додаванні всього 4% етилацетату (етилового естеру оцтової кислоти) до водного розчину з концентрацією спирту 20% маємо зниження температури кипіння на 5-11%, що є цілком достатнім для виходу на необхідну температуру кипіння в інтервалі 80-91

°C у діапазоні тисків від 0,1 до 0,5 кг/см², який відповідає робочому інтервалу для геліосистем.

Sp екологічної точки зору етилацетат не належить до високотоксичних сполук, швидко біодеградує в природному середовищі, широко використовується в харчовій, фармацевтичній та лакофарбовій промисловості, що свідчить про відносно низький рівень екологічного ризику порівняно з синтетичними теплоносіями.

Таким чином, з огляду на завдання енергозбереження, зниження вартості сонячних теплових установок і мінімізації їх впливу на навколишнє природне середовище доцільно продовження експериментальних досліджень спиртових розчинів як альтернативних теплоносіїв для сонячних систем теплопостачання. Цілеспрямований підбір складу таких розчинів дозволить сформувати оптимальний склад теплоносія, який поєднуватиме низьку температуру кипіння, прийнятні теплотехнічні характеристики та підвищену екологічну безпеку.

Використані інформаційні джерела

1. Кравченко О. В., Коваленко В. М. Альтернативні теплоносії для систем сонячного теплопостачання. *Відновлювана енергетика*. 2018. № 3.– С. 45–52.

2. Мазур В. А., Шевченко О. М. Фізико-хімічні властивості розчинів органічних сполук : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. 198 с.

3. Сотник М. І., Поляков С. Г. Екологічна безпека теплоносіїв у системах теплопостачання. *Екологічні науки*. 2019. № 2. С. 87–94.

4. Zhang H., Wang R., Li X. Experimental study on thermophysical properties of alcohol-based working fluids with additives. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 103. P. 850–857.

5. Tyagi V. V., Buddhi D. Thermal performance enhancement of solar systems using modified working fluids. *Renewable Energy*. 2007. Vol. 32. P. 1291–1306.

6. Reid R. C., Prausnitz J. M., Poling B. E. The properties of gases and liquids. 5th ed. New York : McGraw-Hill, 2001. 768 p.

7. Лабораторний стенд для дослідження стагнації геліосистем / Кутний Б.А., Чернецька І.В., Євтушенко Е.О. *Тези 77-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету* (Полтава, 16 травня – 22 травня 2025 р.). Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2025. Т. 2. С. 278–279.

*Корнієнко Р. І., аспірант,
Кутний Б. А., доктор технічних наук, професор*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»*

КРИСТАЛОГІДРАТИ ЯК ОСНОВА ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ: ПЕРЕВАГИ ПЕРЕОХОЛОДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ІНІЦІУВАННЯ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Кристалогідрати неорганічних солей, зокрема ацетату натрію $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ є перспективними теплоакумуючими матеріалами (ТАМ), оскільки характеризуються високою питомою теплою фізико-хімічного процесу гідратації та дегідратації, яка становить 226-274 кДж/кг [1]. Ці матеріали є ключовими для розробки децентралізованих систем енергопостачання та «розумних мереж» (SmartGrid) [2]. Проте, їхнє широке впровадження ускладнюється проблемою вираженого переохолодження, коли рідка фаза не кристалізується в термодинамічній точці плавлення, переходячи в метастабільний стан [3]. Це перешкоджає надійному і керованому вивільненню накопиченої теплової енергії на вимогу споживача. Явище переохолодження пов'язане з низькою швидкістю зародження (нуклеації) кристалів. Отже, розроблення та критичний аналіз методів ініціювання кристалізації є необхідною умовою для створення високоефективних теплових акумуляторів нового покоління.

Мета роботи – узагальнити сучасні уявлення про переохолодження кристалогідратів та його використання для довготривалого/сезонного акумулювання теплоти, а також окреслити інженерні підходи до ініціювання кристалізації в таких системах.

Завдання роботи: визначити основні вимоги до теплоаккумуляторів на основі кристалогідратів; проаналізувати механізми переохолодження та нуклеації кристалогідратів у контексті довготривалого/сезонного акумулювання теплоти; на прикладі сегментованого теплоаккумулятора з ацетатом натрію тригідрату показати можливості практичної реалізації стабільного переохолодження та обмеження механічного ініціювання кристалізації; окреслити основні підходи до ініціювання кристалізації переохолоджених кристалогідратів та обґрунтувати перспективність безмеханічних електричних тригерів як напряму подальших досліджень.

Кристалогідрати солей належать до класу фазозмінних теплоакумуючих матеріалів і на відміну від теплоємних теплоаккумуляторів використовують фазовий перехід «тверде тіло –

рідке», що дозволяє суттєво підвищити щільність накопичення теплоти за фіксованої температури.

На основі аналізу літературних джерел [3-5] до теплоаккумуляторів на основі кристалогідратів висувають такі ключові вимоги: висока енергоємність; керованість процесів зарядження та розрядження; термічна й циклічна стабільність; економічна доцільність; безпека й корозійна сумісність; достатня інтенсивність теплопередачі. Виконання цих вимог нерозривно пов'язане з контролем над переохолодженням та впровадженням надійних методів ініціювання кристалізації.

Переохолодження виникає, коли розплавлений кристалогідрат охолоджується нижче температури плавлення, але не кристалізується через недостатню швидкість утворення зародків нової фази (нуклеації). Для розуміння того, як керувати процесами переохолодження та нуклеації в кристалогідратних ФЗМ, доцільно коротко розглянути положення класичної теорії нуклеації (КТН). Відповідно до КТН, утворення кристалічних зародків визначається співвідношенням між об'ємною складовою зміни вільної енергії та поверхневою складовою. Об'ємна складова є рушійною силою переходу з рідкого стану у твердий і залежить від різниці вільної енергії на одиницю об'єму між рідкою й твердою фазами. Натомість поверхнева складова відповідає за енергетичний бар'єр, пов'язаний із формуванням нової межі поділу між ядром кристала та рідкою фазою, і є пропорційною площі поверхні зародка та поверхневому натягу [1].

Згідно з КТН, лише зародки з радіусом $r > r_c$ є термодинамічно стійкими й здатні зростати, тоді як менші розчиняються. Критичний радіус r_c обернено пропорційний ступеню переохолодження ΔT :

$$r_c \approx \frac{2\sigma T_m}{\Delta H_m \Delta T}, \quad (1.1)$$

де σ – поверхневий натяг, T_m – температура плавлення, ΔH_m – прихована теплота плавлення. Отже, зі зростанням ΔT (глибшим переохолодженням) енергетичний бар'єр нуклеації зменшується, а ймовірність зародження кристалів різко зростає [1, с. 10]

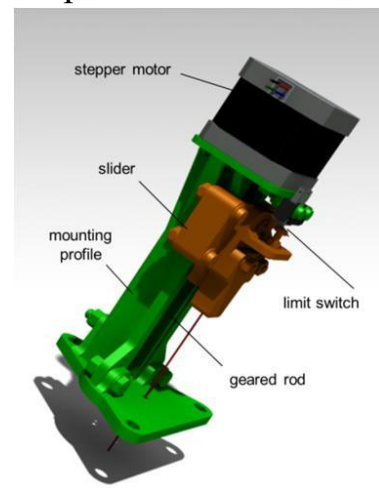
Із інженерної точки зору це означає, що замість доведення системи до надмірно глибокого переохолодження доцільніше цілеспрямовано знижувати бар'єр нуклеації – створюючи ефективні центри гетерогенної нуклеації або застосовуючи зовнішні керовані впливи. Саме тому подальший аналіз зосереджено на методах ініціювання кристалізації, які дають змогу запускати фазовий перехід у заданий момент часу.

У більшості робіт переохолодження розглядають як проблему, що ускладнює гарантоване вивільнення накопиченої теплоти, проте стабільний переохолоджений стан кристалогідратів може слугувати

керованим резервом енергії: теплота зберігається у прихованій формі доти, доки не буде ініційовано кристалізацію, а попри неминучі втрати теплоємнісної складової основний внесок забезпечує саме прихована теплота фазового переходу, яку можна акумулювати в періоди надлишкового надходження сонячної енергії та використовувати в опалювальний сезон [6]. Показовим прикладом такої реалізації є сегментований теплоакумулятор на основі ацетату натрію тригідрату, інтегрований у сонячну систему ГВП та опалення: чотири плоскі модулі були з'єднані з буферним водяним баком і полем вакуумних колекторів; після плавлення при ≈ 80 °С матеріал тривалий час зберігався у переохолодженому стані, а керовано ініційована кристалізація дозволяла повернути більшу частину прихованої теплоти (≈ 80 %), хоча застосований механічний пристрій ін'єкції затравки з порожнистою голкою та кроковим двигуном ускладнює масштабування такого підходу для промислових багатосекційних теплоакумуляторів.



а)



б)

Рисунок – Теплоакуюлюючі модулі (а) та пристрій ін'єкції затравки (б) [6]

У цьому контексті на кафедрі теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» спільно з професором Б. А. Кутним проводяться дослідження можливості використання імпульсних високовольтних електричних розрядів як альтернативного методу ініціювання кристалізації переохолоджених кристалогідратів на основі ацетату натрію. Такий підхід потенційно дає змогу відмовитися від рухомих механічних елементів, зберігаючи герметичність теплоакумулятора, підвищити керованість запуску фазового переходу та спростити масштабування тригерів для багатосекційних систем.

За фізичною природою впливу методи ініціювання кристалізації переохолоджених кристалогідратів доцільно поділяти на хімічні (добавки, затравки), механічні та гідродинамічні (струс, вібрація, внутрішні тригери), термічні (локальне охолодження) та

електричні/електромагнітні. У межах цієї роботи зосередимося на принципових відмінностях між механічними та електричними підходами, тоді як детальна порівняльна характеристика окремих методів буде предметом подальших досліджень.

Отже, кристалогідрати солей є перспективною основою теплоаккумуляторів нового покоління завдяки високій енергоємності та здатності до тривалого переохолодження. Водночас глибоке переохолодження й невизначеність моменту кристалізації вимагають застосування керованих методів ініціювання фазового переходу для забезпечення надійної роботи систем, здатних віддавати теплоту «за вимогою». Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення та експериментальна перевірка безмеханічних електричних тригерів кристалізації на основі імпульсних високовольтних розрядів.

Використані інформаційні джерела

1. Wei L., Ohsaka W. Supercooling and solidification behavior of phase change material [Електронний ресурс]. *ISIJ International*. 2010. VOL. 50, № 9. P. 1265–1269. – DOI: 10.2355/isijinternational.50.1265.

2. Демченко В. Г., Гронь С. С., Погорелов Н. Д. Конструкторський розрахунок мобільного теплового акумулятора [Електронний ресурс]. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41, № 4. С. 35–43. – DOI: 10.31472/ttpe.4.2019.5.

3. Корінчевська Т. В. Теплофізичні властивості теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом на основі органічних сполук. Київ : Інститут технічної теплофізики НАН України, 2017.

4. Dincer I., Rosen M. A. Thermal energy storage systems and applications [Електронний ресурс]. 3rd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2021. 752 p. – DOI: 10.1002/9781119713173.

5. Будлянський С. В., Редько А. Ф. Аналіз систем акумуляції тепла в теплових установках галузей господарювання. *Науковий вісник будівництва*. 2010. С. 144–146.

6. Englmaier G., Moser C., Furbo S. Design and functionality of a segmented heat-storage prototype utilizing stable supercooling of sodium acetate trihydrate in a solar heating system [Електронний ресурс]. *Applied Energy*. 2018. P. 522–534. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.124.

7. Kong W., Dannemand M., Johansen J. B. Experimental investigations on heat content of supercooled sodium acetate trihydrate by a simple heat loss method [Електронний ресурс]. *Solar Energy*. 2016. P. 249–257. – DOI: 10.1016/j.solener.2016.09.045.

8. Будлянський С. В. Порівняння теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом для систем сонячного теплопостачання [Електронний ресурс]. – 2013. С. 1–4. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/38329/> (дата звернення: 20.05.2025).

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЇ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 378.147.016:54]:502-057.87

*Бунякіна Н. В., кандидат хімічних наук, доцент,
Дрючко О. Г., кандидат хімічних наук, доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка» м. Полтава, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЕКОЛОГІВ

Вирішення екологічних проблем у ХХІ сторіччі обумовлює затребуваність професії еколога, що пов'язано з широким полем діяльності для екологів на шляху подолання наслідків панування епохи антропоцентризму й переходом людства до сталого екологічно безпечного розвитку [1].

У зв'язку з цим підвищуються вимоги до якості підготовки майбутніх фахівців саме з хімічних дисциплін, які мають поєднати хімічні знання і процеси, які відбуваються в екосистемах. Для оцінювання якості води, повітря та ґрунту, а також екологічного моніторингу в цілому використовують хімічні показники, для визначення яких потрібні глибокі знання як з класичних методів аналітичної хімії, так із сучасних методів визначення показників довкілля.

Отже, формування у майбутніх спеціалістів хімічної системи знань як в межах компетентностей, передбачених навчальними дисциплінами, так і завдяки використанню інноваційних методів навчання є першочерговою задачею підготовки фахівців. Здобувачі екологи починають вивчати хімію з першого курсу і вже мають певні знання, набуті в школі. Тому перед викладачем і здобувачами постає важливе завдання – поглибити знання з хімії, прив'язати їх до реального життя людини як частини довкілля та динаміки процесів, що відбуваються у навколишньому середовищі. Це можливо за постійної взаємодії учасників навчального процесу – викладача та здобувачів [2].

Упродовж останніх років спостерігається стійка тенденція до зменшення аудиторних годин, відведених на вивчення дисциплін хімічного циклу. Ураховуючи специфіку вивчення хімії та низький рівень підготовки випускників загальноосвітніх закладів з хімії в Україні, практично неможливо забезпечити якісне формування хімічної складової професійної компетентності майбутнього еколога.

Тому у фахівців нового типу необхідно сформувати професійну компетенцію. У роботі [1] наводиться перелік предметних компетенцій із хімічних дисциплін, потрібних для формування у фахівців із екології професійної компетенції.

Для покращення підготовки екологів із хімічних дисциплін можна виділити такі необхідні заходи [3]:

- 1) провести перерозподіл навчального часу, що відводиться на вивчення хімічних дисциплін зі збільшенням професійної спрямованості;
- 2) збільшити хімічну складову екологічної освіти за рахунок включення додаткових спецкурсів хімічного спрямування до варіативної складової навчальних планів, розробити систему навчальних пізнавальних завдань міждисциплінарного характеру з домінуванням біологічного і хімічного матеріалу для самостійної та науково-дослідної роботи студентів;
- 3) збільшити увагу до набуття практичного досвіду, який студенти накопичують при проведенні експериментальних досліджень на лабораторних роботах і акцентування увагу на наукову роботу, яка повинна займати провідне місце в умовах вищої освіти.

Важливу роль у навчанні фахівців, які будуть мати конкурентну перевагу в подальшому працевлаштуванні, – це формування практичних навичок й вироблення умінь.

Вивчення теоретичного матеріалу, виконання практичних і лабораторних робіт, розв'язання експериментальних задач із таких дисциплін як «Загальна й аналітична хімія», «Органічна хімія», «Ґрунтознавство», «Хімія навколишнього середовища і санітарно-хімічний аналіз» надають можливість майбутнім екологам:

- оволодіти технікою розв'язання розрахункових, графічних, логічних і експериментальних задач;
- опанувати техніку хімічного експерименту;
- набути практичні навички зважування, вимірювання температури, тиску, одержання вакууму, приготування розчинів, техніки титрування, фільтрування, дистиляції, випарювання, екстракції, спеціальних методів очищення речовин, роботи з лабораторним посудом;

Поряд із класичними методами освіти у часи інформаційного суспільства великого значення набувають інноваційні технології. Вони забезпечують перехід системи підготовки фахівців на більш високий рівень.

Інноваційні технології, перш за все, працюють на результат фаховості. Вчені, дослідники та розробники цих технологій, а також викладачі вищої освіти відзначають, що інноваційні технології забезпечують тріаду компетенцій сучасної системи вищої школи: *hard-skills*, *soft-skills* та *digital skills* [2]. Серед інноваційних технологій виділяють технологію кейсів (*casestudy*).

У роботі [2] розглядають Case метод як сукупність навчальних матеріалів, в яких описані практичні проблеми, що виникають у житті і які передбачають колективне та індивідуальне вирішення. Цей метод є ефективним для ідентифікації фахових проблем, наприклад, забруднення довкілля хімічними речовинами, систематизації та аналізу викладених фактів і розробки альтернативних рішень. Творче та аналітичне мислення притаманне кейс-методу, стає необхідною рисою сучасного еколога.

Як зазначено у роботі [2] завдання у формі кейсів сприяє більш результативному обміну знаннями, комунікації між собою, тобто здобувачі навчаються не тільки у викладача, а й один у одного. При цьому формуються навички спостереження, ідентифікації проблеми, прийняття альтернативного рішення, мотивація. Здобувачі підтверджують правильність вибраного рішення лабораторними дослідженнями. Це також розвиває здібності до здатності вирішувати як стандартні, так і спеціальні задачі, що є дуже важливим в роботі еколога при виникненні у довкіллі надзвичайних ситуацій, екологічних катастроф.

Сучасне суспільство потребує висококваліфікованих фахівців із екології, які здатні швидко і якісно вирішувати проблеми довкілля, тому їх підготовка в закладах вищої освіти є важливою державною задачею.

Якісній підготовці таких фахівців сприяють дисципліни хімічного циклу, які дозволяють випускникам усебічно, в тому числі й з хімічних позицій, досліджувати стан довкілля та вплив на нього антропогенної діяльності, допомагають вирішувати екологічні проблеми сьогодення [1].

Використані інформаційні джерела

1. Заблоцька О.С. Предметні компетенції з хімії у вищій екологічній освіті. URL: <https://studentam.net.ua/content/view/7316/97/>
2. Тунік Т.М., Коломієць Л.В. Застосування інноваційних методів у викладанні хімії майбутнім фахівцям з екології та охорони навколишнього середовища. *Наукові записки*. Серія: Педагогічні науки. Випуск 216 (2024). С. 332–335.
3. Горбунова Н.О. Використання спецкурсів хімічного спрямування для формування хімічної складової професійної компетенції майбутніх фахівців-екологів. *V Регіональна науково-практична конференція «Житомирські хімічні читання 2016»* (18 травня 2016 року) : Тези доповідей. Житомир : Житомирський державний університет ім. І. Франка, 2016. С.113–116.

Давиденко Л. П., кандидат хімічних наук, доцент

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ПОНЯТТЯ ЕНТРОПІЇ ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЕКОЛОГІВ

У курсі фізики під час вивчення термодинаміки студенти опановують поняття термодинамічної системи і розглядають величини, що характеризують стан системи, а саме параметри системи. Стан системи залежить і від внутрішніх, і від зовнішніх параметрів. Параметри поділяються також на:

Інтенсивні – не залежать від маси, кількості речовини у системі (концентрація, тиск, температура–характеризують речовину її стан).

Екстенсивні і– характеризують систему як ціле. Залежать від маси і кількості речовини. Ці параметри є адитивними.

У термодинаміці з усіх параметрів вибирають так звані *незалежні змінні*, через які виражають інші, та залежні змінні – функції від цих незалежних змінних (параметрів). В більшості випадків за незалежні змінні обирають ті, які найбільш доступні для вимірювання. Такими є температура, об'єм, тиск, концентрація, тоді як функціями є, наприклад, внутрішня енергія системи, ентальпія, ентропія тощо.

Є різні тлумачення поняття ентропії. Введемо поняття приведеної теплоти

$$\frac{dQ}{T}$$

і доведемо, що приведена кількість теплоти, квазістатично надане термодинамічній системі, не залежить від шляху переходу, а визначається лише початковим і кінцевим станами системи. Відповідно, це вказує на те, що ми отримали функцію стану термодинамічної системи яку називають ентропією. Зазначаємо, що ентропію визначаємо з точністю до сталої. Фізичний зміст має різниця ентропії.

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

У подальшому поняття ентропії набуло більш широкого змісту. У працях Гельмгольца і Больцмана розглянуто закон зростання ентропії як наслідок зростання хаосу. Разом із тим, розвиток систем може відбуватися шляхом переходу від простих систем, до більш

упорядкованих. Якщо розбити термодинамічну систему на підсистеми, то ентропію усїєї системи можна визначити як суму ентропій підсистем:

$$S = \sum S_i$$

Відповідно до тлумачення Больцмана можливі локальні відхилення від закону зростання ентропії для підсистем. Але якщо ентропія у підсистемі буде зменшуватись, то для усїєї системи буде спостерігатись збільшення ентропії. Максимальна ентропія характеризує системи, що руйнуються.

Ентропія – це характеристика, що показує ступінь безладу системи, її неупорядкованість, хаотичність. Відповідно до другого начала термодинаміки в усїх закритих системах ентропія може лише зростати. Відповідно закриті системи переходять від впорядкованого до неупорядкованого стану. Зростання ентропії – універсальний закон природи, яким зумовлені процеси деградації, розпаду, загибелі замкнених систем. У відкритих системах можливі процеси, що приводять до зменшення ентропії підсистем, тобто до зростання впорядкованості.

Для студентів – екологів предметом вивчення є різноманітні системи, процеси їх еволюції і стійкості. У глобальному сенсі говорять про те, що людство має прагнути до зменшення росту ентропії з метою збереження стійкості системи (1,2)

Для існування біосферних систем необхідне надходження енергії і подальше її перетворення. Але певна діяльність, направлена начебто на підвищення стійкості системи може призводити до збільшення ентропії. Наприклад, очищення стічних вод супроводжується у цілому збільшенням ентропії. Відповідно необхідно відновлювати ресурси і шукати шляхи до природного самоочищення і підтримання екологічної рівноваги. Видобуток енергії на теплових електростанціях, гідроелектростанціях і навіть атомних електростанціях призводить у цілому до забруднення навколишнього середовища і супроводжується втратами ресурсів. Зазначимо, що поняття теорії систем, системного аналізу, системного підходу є універсальними. Існує Міжнародний інститут прикладного системного аналізу (International Institute for Applied Systems Analysis-ILASA) предметом діяльності якого є розв'язання не лише екологічних проблем, але й соціальних, енергетичних, економічних, сільськогосподарських тощо [3, 4].

Основу загальної теорії систем складають фундаментальні положення термодинаміки: закон збереження енергії замкненої системи, закон зростання ентропії замкненої системи, теорема Нернста та інші. Для відкритих необмежених систем, до яких належать, зокрема, природні системи, другий і третій принципи термодинаміки потрібно формулювати у вигляді об'єднаного термодинамічного принципу: ентропія підсистеми речовини прагне до нуля при одночасному зростанні ентропії об'єднаної системи [5].

Найбільш складними для вивчення є неврівноважені системи. Згідно з принципом Ле Шательє-Брауна при виведенні системи зі стану рівноваги під дією зовнішнього впливу, що, рівновага зміщується в тому напрямі, в якому ефект зовнішнього впливу послаблюється. При цьому, чим більше відхилення від стану екологічної рівноваги, тим істотнішими мають бути енергетичні затрати для послаблення протидії екосистеми цьому відхиленню [5]. Якщо система переходить межу стійкості, то вона потрапляє в критичний стан, який називається точкою біфуркації. В цій точці навіть незначна флуктуація може вивести систему на інший шлях еволюції і різко змінити її структуру та поведінку. Системи при цьому руйнуються, але неможливо передбачити, чи стане динаміка системи хаотичною чи вона перейде на новий, більш високий рівень упорядкованості.

Таким чином, проблеми стійкості екосистем можуть бути досліджені на підставі термодинамічних уявлень і визначення шляхів оптимізації ентропії.

Використані інформаційні джерела

1. Термодинамічні аспекти системного підходу в екології / В. Безсонний, О. Третьяков, М. Шерстюк, А. Некос. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2022, випуск 57. С. 268–280.

2. Фізико-хімічні основи термодинаміки : навчально-методичний посібник / А. О. Ширікалова, Я. Ф. Бурдіна, Г. П. Косінська. Одеса : Астропринт, 2022 52с .

3. Гандзюра В. П. Системний аналіз якості навколишнього середовища : Навч. посібник для студ. вищих навч. закладів. К. 2020. 180 с.

4. Меньяйлов С. М. Вплив фізики на формування екологічної компетентності. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-т. : Матеріали XIX Міжн. наук.-практ. Конф. молодих вчених і студентів, м. Київ, 20-23 квітня 2021р.* Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. Т.2. 303 с.

5. Теорія систем в екології : підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло та ін. Суми : Сумський державний університет, 2015. 330 с.

¹Гузик Д. В., кандидат технічних наук, доцент,
¹Череднікова О. В., кандидат технічних наук, доцент,
²Котелков Л. М., начальник відділу,
³Стратій Ю. О., директор представництва компанії,
⁴Петренко В. О., технічний директор представництва компанії

¹Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна,
²ПрАТ «ВЕНТС», м. Боярка, Україна,
³Hisense-Україна (КНР), ⁴HERZ-Україна (Австрія)

ДОСВІД ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИХ СЕМІНАРІВ У ПОЛТАВСЬКІЙ ПОЛІТЕХНІЦІ ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Актуальність – налагодження співпраці між кафедрами університету з виробництвом є однією з головних задач, яку ставить адміністрація університету під керівництвом президента Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» доктора економічних наук, професора Онищенко В.О. перед працівниками структурних підрозділів. На кафедрі «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» університету стало доброю практикою проводити в зазначених рамках науково-практичні семінари для студентів, аспірантів та викладачів кафедри за участі представників провідних вітчизняних та закордонних фірм-виробників сучасного теплотехнічного та кліматичного обладнання.

Мета дослідження – узагальнення досвіду проведення таких семінарів на кафедрі «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» (ТГВтаТ) Полтавської політехніки. У представлених матеріалах розглядаються приклади співпраці зі стейкхолдерами кафедри ТГВ та Т НУПП, а саме ПрАТ «ВЕНТС» (Україна), Hisense-Україна (КНР) та HERZ-Україна (Австрія), які сприяли розвитку лабораторної бази кафедри.

У рамках такої співпраці 20 листопада 2015 року в аудиторії 318 центрального корпусу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка була проведена відкрита мультимедійна лекція разом із представниками фірми ПрАТ «ВЕНТС» («Вентиляційні системи», міста Боярка, Україна) для студентів спеціальностей «Теплоенергетика» та «Технології захисту навколишнього середовища» на тему «Сучасні нагнітачі», на якій виступили представники зазначеної фірми, а саме: провідний технічний

спеціаліст фірми «ВЕНТС» Старченко С. М. та регіональний менеджер Козирев А. В.



Рисунок 1 – Студенти та викладачі на лекції представників фірми «ВЕНТС» в аудиторії 318 Полтавської політехніки

У рамках зазначеної співпраці представники фірми «ВЕНТС» передали в лабораторію кафедри ТГВтаТ лабораторний стенд.



Рисунок 2 – Загальний вигляд стенду на базі обладнання фірми «ВЕНТС»

13 квітня 2017 року в аудиторії 318 центрального корпусу Полтавської політехніки була проведена відкрита мультимедійна лекція-семінар разом із представниками українського представництва віденської фірми «HERZ» («HERZ – Україна», місто Київ) для здобувачів освіти спеціальностей «Теплоенергетика» та «Технології захисту навколишнього середовища» на тему «Продукція компанії HERZ для енергоефективних систем тепло- та холодопостачання». На лекції виступили представники фірми, а саме: технічний директор фірми «ГЕРЦ Україна» Заседателєв І. В. та регіональний торгово-технічний представник Міщан О. С. [1].



Рисунок 3 – Студенти та викладачі на лекції представників фірми «ГЕРЦ Україна»

У рамках зазначеної співпраці представники компанії «HERZ Україна» передали в лабораторію кафедри ТГВтаТ у безкоштовне використання студентам та аспірантам обладнання для влаштування стенду для проведення лабораторних робіт та наукових досліджень.



Рисунок 4 – Загальний вигляд лабораторного стенду на базі обладнання фірми «HERZ»

15 листопада 2019 року директор представництва компанії Hisense в Україні Юрій СТРАТІЙ провів відкриту лекцію для студентів обох коледжів Полтавської політехніки, а навчальна база поповнилась новим стендом кліматичного обладнання [2].



Рисунок 5 – Учасники відкритої лекції в Полтавській політехніці

Кульмінацією стала презентація стенду кліматичного обладнання від компанії Hisense, який подарували університетові. Відтепер він доступний для студентів у лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики. Стенд дає можливість наочно дослідити процеси в системах кондиціонування повітря.



Рисунок 6 – Ознайомлення здобувачів освіти зі змістом стендів

Використані інформаційні джерела:

1. <https://nupp.edu.ua/page/novini-kafedri-teplogazopostachannya-ventilyatsii-ta-teploenergetiki.html>
2. <https://nupp.edu.ua/news/vidomiy-brend-prezentuvav-noviy-navchalniy-stend-klimatichnogo-obladnannya.html>

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В КОНТЕКСТІ ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Умови сталого розвитку, зростання антропогенного навантаження на довкілля, кліматичні виклики та трансформація енергетичного сектору зумовлюють підвищені вимоги до професійної підготовки фахівців у галузі технологій захисту навколишнього середовища [1]. Особливістю програми Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» для підготовки фахівців із технологій захисту навколишнього середовища є її міждисциплінарна спрямованість. Навчальний процес поєднує фундаментальні природничі та інженерні дисципліни з прикладними екологічними курсами, що дозволяє сформуванню системне бачення взаємодії техногенних об'єктів із довкіллям [2].

Кафедра «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» відіграє важливу роль у формуванні екологічно орієнтованого інженера, здатного не лише експлуатувати енергетичні системи, а й оцінювати їхній вплив на навколишнє середовище, проєктувати інженерні системи з використанням природоохоронних технологій та забезпечувати відповідність сучасним екологічним нормам і стандартам [3, 4].

Основою для глибокого розуміння теплотехнічних процесів слугують базові освітні компоненти загального циклу підготовки («Технічна термодинаміка та тепломасообмін», «Гідрогазодинаміка»). Джерела утворення забруднюючих речовин, теплового забруднення, шумових та вібраційних впливів у промисловості розкриває дисципліна професійного циклу «Вентиляційні викиди та промислова вентиляція». Знання про енергоощадні технології та джерела енергії надаються через вибіркові фахові дисципліни, зокрема традиційні джерела вивчаються в курсі «Теплогенеруючі установки та теорія горіння», а альтернативні – у ряді освітніх компонентів, присвячених використанню енергії сонця, вітру, землі, води, водню та біомаси. Конструктивні обмеження, нормативні вимоги до об'єктів та обладнання вивчаються в курсах «Матеріали та компоненти відновлюваних джерел енергії», «Метрологія, стандартизація, екологічна та енергетична сертифікація».

Паралельно з опануванням вказаних освітніх компонентів та спираючись на отримані базові інженерні знання студенти опановують спеціалізовані екологічні дисципліни на випусковій кафедрі «Прикладної екології та природокористування», зокрема предмети, присвячені захисту води, землі, атмосфери та біорізноманіття, а також: «Поводження з відходами», «Моніторинг довкілля», «Техноекологія», «Законодавство в екологічній та енергетичній сферах», «Екологічна оцінка програмних та проектних рішень», «Екологічна та енергетична безпека». Такий підхід забезпечує інтеграцію екологічних знань у реальні інженерні задачі. Принципи сталого розвитку, екологічної безпеки та ресурсозбереження застосовуються безпосередньо в інженерній практиці – від проектування до експлуатації з акцентом на мінімізацію негативного впливу на довкілля та вирішення поточних екологічних викликів, таких як наслідки військових дій, забруднення навколишнього середовища чи утилізація відходів. Це робиться шляхом міждисциплінарного підходу, що поєднує природничі науки з інженерними, навчаючи фахівців вирішувати комплексні еколого-інженерні проблеми та створювати екологічно стійкі рішення, зокрема ефективні системи очищення викидів, енергоощадні технології чи альтернативні джерела енергії.

Підготовка фахівців на кафедрі здійснюється з урахуванням актуальних викликів, серед яких: декарбонізація енергетики, скорочення викидів парникових газів, адаптація до змін клімату, підвищення енергоефективності будівель та інженерних мереж. У навчальних курсах кафедри «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» значна увага надається: використанню відновлюваних джерел енергії, сучасним системам очищення димових газів і вентиляційних викидів, екологічним аспектам експлуатації теплогенеруючих установок, екологічній та енергетичній сертифікації. Здобувачі освіти навчаються аналізувати інженерні рішення не лише з позицій технічної та економічної доцільності, а й з погляду екологічної ефективності та відповідності принципам сталого розвитку.

Важливою складовою освітнього процесу є практична орієнтація навчання. На кафедрі широко застосовуються лабораторні роботи, розрахунково-графічні завдання, курсові проекти, тематика яких пов'язана з реальними екологічними проблемами теплоенергетичного комплексу. Розвинута лабораторна база дозволяє здобувачам досліджувати роботу газових та твердопаливних теплогенеруючих установок, сонячної панелі, вітряка, ґрунтового теплового насоса, пластинчатого та роторного рекуператорів, стінового провітрювача та різноманітних вентиляційних систем, набувати навичок роботи з вимірювальними приладами, проводити обробку й аналіз експериментальних даних, у тому числі з використанням комп'ютерного класу. Під час виконання індивідуальних робіт здобувачі освіти

розробляють заходи зі зниження викидів забруднюючих речовин; оцінюють ефективність систем вентиляції та очищення повітря; обґрунтовують вибір екологічно безпечного обладнання; опановують елементи екологічного й енергетичного менеджменту та аудиту. Такий формат підготовки формує навички інженерного мислення, здатність працювати з приладами та нормативною документацією, виконувати техніко-екологічні обґрунтування та приймати виважені рішення в умовах реальних виробничих обмежень. Особлива увага в освітньому процесі надається формуванню екологічної культури та відповідальності майбутніх фахівців. Здобувачі освіти усвідомлюють роль інженера як ключового учасника процесу мінімізації негативного впливу технічних систем на довкілля.

Таким чином, запропонована модель підготовки відповідає актуальним вимогам ринку праці, сприяє реалізації принципів сталого розвитку в галузі теплоенергетики та забезпечує стійкі фахові компетенції. Загалом підготовка фахівців у галузі технологій захисту навколишнього середовища на кафедрі «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» характеризується системним, міждисциплінарним і практично орієнтованим підходом. Поєднання глибокої інженерної підготовки з екологічними знаннями дозволяє формувати конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно вирішувати сучасні екологічні проблеми енергетики та будівельної інженерії.

Використані інформаційні джерела

1. Стандарт вищої освіти України за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» для першого (бакалаврського) рівня : наказ Міністерства освіти і науки України № 1241 від 13 листопада 2018 р. / Міністерство освіти і науки України. Київ, 2018. – Режим доступу: <https://surl.li/vtpqem> (дата звернення: 10.12.2025).

2. Навчальні плани підготовки бакалаврів за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» – Режим доступу: <https://nupp.edu.ua/page/ad-183-tzns-np-i.html> (дата звернення: 10.12.2025).

3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : Закон України від 25.06.1993 № 1264-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1264_12 (дата звернення: 10.12.2025).

4. Закон України «Про енергетичну ефективність»: Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20> (дата звернення: 10.12.2025).

З М І С Т

УПРАВЛІННЯ ГЛОБАЛЬНОЮ Й РЕГІОНАЛЬНОЮ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ТА АДАПТАЦІЯ ДО ЗМІН КЛІМАТУ

Buriak A.

INTEGRATION MECHANISMS FOR STRENGTHENING UKRAINE'S ENVIRONMENTAL SECURITY UNDER WARTIME.....3

Арканова А. А., В'язовська К. М.

КАРТОГРАФУВАННЯ ЯК ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЛІХЕНОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПОЛТАВИ.....6

Бредун В. І., Бредун А. В.

КРИТЕРІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.....10

Гура К.

ЯК НАУКА ПРАЦЮЄ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ: ДОСВІД ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЦЕНТРУ СТАЛИХ РІШЕНЬ «GreenLabsKNU» ГЕОГРАФІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА.....14

Зима О. Є.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОХОРОНИ ПРАЦІ: СИНЕРГІЯ БЕЗПЕКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ.....16

Ілляш О. Е., Андренко А.О.

ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАРКЕРІВ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПІСЛЯПРОЄКТНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ В РАЙОНАХ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ І ГАЗУ.....18

Іщук Л. П., Іщук Г.П.

ПРОБЛЕМА ВИСИХАННЯ СТАВКІВ І МАЛИХ РІЧОК НА ПРАВОБЕРЕЖЖІ ЧЕРКАЩИНИ: ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ.....23

Клок С. В., Федорченко І. М., Мазура В. І., Слепцова В. О.

СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ПО ДАНИМ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ БОРИСПІЛЬ.....29

Коновалов А. О., Тихенко О. М.

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТУ ЯК КЛЮЧОВА СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ.....34

Литвиненко О. О., Кутний Б. А.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ ГАЗУ: АНАЛІЗ РИЗИКІВ ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ГІДРАТАМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....38

Магась Н. І., Свиначчук К. О. АНАЛІЗ ЗМІН СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ.....	42
Скляр В. Г., Кунцевський Д. І. ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ЛІСОВИМ ЕКОСИСТЕМАМ ТА ДЕЯКІ НАПРЯМИ ЇХ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ.....	47
Смоляр Н. О., Бурда А. Ю. МОНІТОРИНГ ДЕЯКИХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОЛОДЯЗЬНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ НА ТЕРИТОРІЇ АДМІНІСТРАТИВНО- НАУКОВОГО ЦЕНТРУ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «НИЖНЬОВОРСКЛЯНСЬКИЙ».....	51
Смоляр Н. О., Левицька А. С. НОВІ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ <i>ASTRAGALUS DASYANTHUS</i> PALL. НА ПОЛТАВЩИНІ (УКРАЇНА).....	55
Степова О. В., Степовий Є. Б. ІНТЕГРАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У НАФТОВОМУ СЕКТОРІ.....	58
Степова О. В., Тягній Л. М. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЗНИМИ БІОІНДИКАЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ РІЧКИ ВОРСКЛИ В МЕЖАХ МІСТА ПОЛТАВИ.....	63
Шарий Г. І., Шара С. Ю. СТАЛИЙ РОЗВИТОК – ГЕОПОЛІТИЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ.....	67
Ютіш О. В., Магась Н. І. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПУ «ЗАБРУДНЮВАЧ ПЛАТИТЬ» ЧЕРЕЗ МЕХАНІЗМИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРАХУВАННЯ.....	69

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Бедункова О. О., Борщевська І. М., Турчин Я. П. ПРОСТОРОВА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ РІВНІВ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ПРИКЛАДІ МІКРОРАЙОНУ МІСТА РІВНЕ.....	74
Бердін І. В. ФЛОРА ПРИБЕРЕЖНОЇ СМУГИ РІЧКИ ВОРСКЛИ У ЇЇ ВЕРХНІЙ ТЕЧІЇ (У МЕЖАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ).....	78
Васько О. А., Глущенко Л. А. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЛІКАРСЬКОЇ ФЛОРИ ЛУЧНИХ ТА ВОДНО-БОЛОТНИХ УГРУПОВАНЬ.....	82
Винников Ю. Л., Харченко М. О., Галінська Т. А., Гаджієв М. ДОСВІД УТИЛІЗАЦІЇ РОЗКРИВНИХ ПОРІД.....	85
Голік Ю. С. ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ПАЛАТІ ЛІКАРНІ.....	89

Закревський А. А. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СКИПІДАРУ ТА КАНІФОЛІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БОЙОВИХ «ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ» ДРОНІВ.....	96
Ілляш О. Е., Ганошенко Г. В. БІШОФІТ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦІЙНИМ ЦЕМЕНТНИМ В'ЯЖУЧИМ.....	99
Ілюха О. В., Гаврилюк М. Н. ЗЕМНОВОДНІ НПП «ХОЛОДНИЙ ЯР»: СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ТА ЗАГРОЗИ ДЛЯ ПОПУЛЯЦІЙ.....	103
Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимощенко А. В. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛО- ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВА І ДОБРІВ.....	108
Олійник О. В., Мовчан В. В. СУЧАСНИЙ СТАН РІДКІСНОЇ ФЛОРИ НА ЗАПЛАВІ РІЧКИ ХОРОЛ НА ПІВНОЧІ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	112
Радомська М. М., Невгад Є. В. ВПЛИВ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА РОЗСІЮВАННЯ НАСІННЯ.....	117
Сафранов Т. А., Полушкін Т. І. ВІДХОДИ ПЛАСТИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ В ПОТОЦІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ДЖЕРЕЛО ВТОРИННИХ МАТЕРІАЛЬНИХ РЕСУРСІВ	121
Серга Т. М., Голік Ю. С. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОГОСТІ ТА ЗОЛЬНОСТІ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ І ТОРФУ.....	126
Смоляр Н. О., Глебова А. О. ВІРТУАЛЬНІ ТУРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ.....	129
Соколов А. В., Улицький О. А., Фролов В. Ф. ВАКУУМНА ДИСТИЛЯЦІЯ ЯК ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ПЕРЕРОБКИ НАФТОВМІСНИХ ШЛАМІВ ТА ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛ.....	132
Тихенко О. М., Поліщук А. О. ОБҐРУНТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ.....	136
Тихенко О.М., Рога В. В. ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	140

Тищик Д. В., Глушенко Л. А. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ВОДНО-БОЛОТНИХ УГРУПОВАНЬ МАЛИХ РІЧОК БАСЕЙНУ РІЧКИ СУЛА.....	143
Фролов В. Ф., Яковлев І. О. ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ОЗОНОМ: СТАРІ ПРОБЛЕМИ І НОВА ГІПОТЕЗА.....	148
Шарий Г. І., Козлов В. В. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЗЗ ДЛЯ ФІКСАЦІЇ ОЗНАК ЕКОЦИДУ ТА ОЦІНКИ ЗБИТКІВ ЗА НАЦІОНАЛЬНИМИ МЕТОДИКАМИ.....	151
 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ Й ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ	
Євтушенко Е. О., Кутний Б. А., Чернецька І. В. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ СПИРТОВИХ РОЗЧИНІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ТЕПЛОНОСІЇВ ДЛЯ ГЕЛІОСИСТЕМ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	155
Корнієнко Р. І., Кутний Б. А. КРИСТАЛОГІДРАТИ ЯК ОСНОВА ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ: ПЕРЕВАГИ ПЕРЕОХОЛОДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ІНІЦІУВАННЯ КРИСТАЛІЗАЦІЇ.....	159
 ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЇ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
Бунякіна Н. В., Дрючко О. Г. ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЕКОЛОГІВ.....	163
Давиденко Л. П. ПОНЯТТЯ ЕНТРОПІЇ ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЕКОЛОГІВ.....	166
Гузик Д. В., Череднікова О. В., Котелков Л. М., Стратій Ю. О., Петренко В. О. ДОСВІД ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИХ СЕМІНАРІВ У ПОЛТАВСЬКІЙ ПОЛІТЕХНІЦІ ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ.....	169
Чернецька І. В. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В КОНТЕКСТІ ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	174

*Електронне наукове видання
комбінованого використання.
Можна використовувати в локальному та мережовому режимах.*

**VI Міжнародна науково-практична конференція
«Екологія. Довкілля. Енергозбереження»
17 грудня 2025 року**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ
VI Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Довкілля. Енергозбереження»
(Україна, Полтава, 17 грудня 2025 року)

Комп'ютерна верстка та
редагування

Наталія СМОЛЯР

Відповідальна за видання
завідувачка кафедри прикладної екології
та хімії

Оксана ІЛЛЯШ

Обл.-вид. арк. 11,38

Видавець: Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36011, Полтава, проспект Віталія Грицаєнка, 24
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ДК. №7019 від 19.12.2019 р.
