



ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

№6, 2024

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 2 рази на рік

Заснований у 2019 році

Редакційна колегія:

Головний редактор

Улицький Олег Андрійович
Доктор геологічних наук

Науковий редактор

Машков Олег Альбертович
Доктор технічних наук

Редакційна колегія:

Гудков Д. І.	Доктор біологічних наук
Дудар Т. В.	Доктор технічних наук
Єрмаков В. М.	Доктор технічних наук
Ісаєнко В. М.	Доктор біологічних наук
Кватернюк С. М.	Доктор технічних наук
Ліханов А. Ф.	Доктор біологічних наук
Лукашов Д. В.	Доктор біологічних наук
Луньова О. В.	Доктор технічних наук
Мадж С. М.	Доктор технічних наук
Маркіна Л. М.	Доктор технічних наук
Міхєєв О. М.	Доктор біологічних наук
Ольховик Ю. О.	Доктор технічних наук
Павличенко А. В.	Доктор технічних наук
Петрук В. Г.	Доктор технічних наук
Петрук Р. В.	Доктор технічних наук
Проскурнін О. А.	Доктор технічних наук
Риженко Н. О.	Доктор біологічних наук
Степова О. В.	Доктор технічних наук
Фролов В. Ф.	Доктор технічних наук
Шматков Г. Г.	Доктор біологічних наук

Літературний редактор (англійська мова)

Іващенко Катерина Тарасівна

Відповідальний редактор, науковий співробітник

Гуленко Олена Борисівна

ЗАСНОВНИК:

Корпорація «Науково-виробниче об'єднання
«Технології захисту довкілля»»

Науковий парк «ЧОРНОБИЛЬ»

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу
масової інформації КВ № 23757-13597Р від 20.02.2019 р.

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань
України категорії «Б» (Галузь науки біологічні, технічні.
Спеціальність 101, 183) наказ МОН України №894 від
10.10.2022 р.

ISSN: 2707-7993

**Метою видання наукового журналу є висвітлення
питань екологічної безпеки, технологій захисту довкілля,
екологічного менеджменту та аудиту, біологічної безпеки
та охорони навколишнього природного середовища.**

Рекомендовано до друку науково-технічною радою
Корпорації «Науково-виробниче об'єднання «Технології
захисту довкілля»». Підписано до друку 02.12.2024 р.

Адреса редакції:

Вул. Вознесеньський узвіз 10а, прим. 602. м. Київ, 04055

Тел: +380980625787

(контактна особа-Печений Володимир)

Corporation_office@ukr.net

<https://corpocotech.com.ua>

<https://facebook.com/SIAS.Techecosafety/>

Видавництво ТОВ «Основа»

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців
ДК №1981 від 21.10.2004 р.

01032, м. Київ-32, вул. Жилинська, 87/30.

Тел.: (044) 584-38-97, 584-38-95(96).

Формат 60x84/8

Наклад 100 прим.

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації
несуть автори статей.

Висловлені в статтях думки можуть не збігатися з точкою зору редакційної колегії і не покладають на неї жодних зобов'язань.

Відповідальність за добір і викладення фактів несуть автори.

У разі передрукування матеріалів письмовий дозвіл автора та редакції є обов'язковим.

ЗМІСТ

Проскурнін О. А. Василенко С. Л. Цапко Н. С. Захарченко М. І. Дем'янова О. О.	КЛАСИФІКАЦІЯ ПУНКТИВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	3
Маркіна Л. М. Власенко О. В. Копаниця О. Б. Зудіков А. О.	КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ	10
Громова І. Ю. Печений В. Л. Яковлев І. О. Попов О. Ю.	ОЦІНКА ВПЛИВУ ОЧИСНИХ СПОРУД МІСТА ЗОЛОТОНОША В МЕЖАХ ДІЛЯНКИ РІЧКИ СУХА ЗГАР	20
Івашенко Т. Г. Машков О. А. Присяжний В. І. Фінін Г. С. Оводенко Т. С.	НАУКОВІ ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОДНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА МЕТОДОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	27
Улицький О. А. Д'яченко Н. О. Касьяненко Д. Л.	ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЙМОВІРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЧИННИКА ВИДОБУВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПОКЛАДІВ НА ЗМІНИ ЕКОЛОГО- ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА	38
Кірейцева Г. В. Циганенко- Дзюбенко І. Ю. Хоменко С. В. Хрутьба В. О. Мазуркевич К. В.	ІНТЕГРАЦІЯ LST-ІНДЕКСІВ ТА СЦЕНАРІЇВ RCP ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ МІСТ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЙНИХ ЗМІН	50
Вакал С. В. Шепета К. О. Вакал В. С. Ізмозденова Т. І.	ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЗОЛИ З СОЛОМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ТА ВНЕСЕНИХ ДОБРІВ	60
Коцюбинський А. О. Грицуляк Г. М. Яцишин Т. М. Линник Д. О.	ОЦІНКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ У ЗОНІ ВПЛИВУ БАЗ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОКИСЛЮВАЧІВ	75
Рибак О. С. Герасимчук Л. О.	КОМПЛЕКСНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ПІД ЕКСТЕНСИВНИЙ ЗЕЛЕНИЙ ДАХ, ПІДБІР РОСЛИННОГО АСОРТИМЕНТУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДОГЛЯДУ	84
Барабаш О. В. Хрутьба Ю. С. Покшевницька Т. В.	КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИРОДООХОРОННИХ ПРОЄКТІВ	93
Рибалка Н. В. Ольховик Ю. О.	ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ (РАВ) В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ	99
Демчук Л.І. Давидова І.В. Войналович І.М. Корбут М.Б.	ОЦІНКА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МИЙОК (НА ПРИКЛАДІ МЕРЕЖІ АЗК «ОККО»)	104

УДК 504.064

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-01>

КЛАСИФІКАЦІЯ ПУНКТИВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Проскурнін О. А.¹¹НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166*proskurnin_o@ukr.net***Василенко С. Л.²**Комунальне підприємство «Харківводоканал»,
вул. Конторська, 90, м. Харків, 61052*vasylenko_serhiy_leonidovych@ukr.net***Цапко Н. С.¹***tsapkonatali@gmail.com***Захарченко М. І.³**Національний аерокосмічний університет «ХАІ» ім. М. Є. Жуковського,
вул. Вадима Манька, 17, м. Харків, 61070*m.zakharchenko@khai.edu***Дем'янова О. О.**фізична особа-підприємець, м. Херсон,
olga.demvdem55@gmail.com

З метою підвищення рівня екологічної безпеки потенційно небезпечних підприємств розробляються плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (далі – ПЛАС). Проблема полягає в тому, що ПЛАС регулює дії підрозділів підприємства, населення, представників органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування з локалізації та ліквідації аварій, але, згідно з чинними правилами, не регулює порядок контролю за станом компонентів навколишнього середовища, які можуть постраждати внаслідок аварії. Зокрема це стосується контролю за станом водного об'єкта, в який може бути здійснено аварійний скид хімічних забруднюючих речовин. У даній статті авторами надані пропозиції щодо організації контролю за станом поверхневих вод, що зазнають забруднення, у плані встановлен-

ня пунктів контролю. Для оцінки стану водного об'єкта на його протяжній частині рекомендується використовувати інтегральні (у просторовому розумінні) показники якості води. При цьому, для правильної інтегральної оцінки необхідно класифікувати пункти контролю за ступенем їхньої значимості. Класифікація може бути здійснена шляхом використання експертних оцінок розробників ПЛАС. Авторами запропоновано статистичний метод перевірки узгодженості експертних суджень за допомогою коефіцієнта конкордації. Демонстративна реалізація, наведених у статті рекомендацій, здійснена на прикладі Комунального підприємства «Харківводоканал», на балансі якого є два комплекси біологічної очистки води (далі – КБО). Ці комплекси є потенційно небезпечними об'єктами, стосовно можливої

аварії. Крім того, з урахуванням воєнних дій, що наразі відбуваються, можлива диверсія з боку держави-агресора. В обох випадках є ризик забруднення річки Сіверський Донець, яке є джерелом питного водопостачання трьох областей України. Як додаток до ПЛАС, запропоновано встановлювати пункти контролю поблизу місць штатного скиду комунально-виробничих стічних вод підприємств та за межами населених пунктів. Авторами статті наведено приклад статистичної перевірки узгодженості експертних суджень за допомогою коефіцієнта конкордації при ранжуванні встановлених пунктів контролю якості річкової води.

Ключові слова: екологічна безпека, потенційно небезпечне підприємство, аварія, пункт контролю, класифікація, експертне судження, коефіцієнт конкордації.

Systematic classification of water quality monitoring points in water bodies during industrial accident mitigation. *Proskurnin O., Vasylenko S., Tsapko N., Zakharchenko M.*

In order to enhance the level of environmental safety at potentially hazardous enterprises, plans for the localization and elimination of emergency situations and accidents (hereinafter referred to as PLAS) are developed. The problem lies in the fact that PLAS regulates the actions of enterprise units, the population, representatives of executive authorities, and local self-government bodies in localizing and eliminating accidents, but, according to current regulations, it does not regulate the procedure for monitoring the state of environmental components that may be affected as a result of an accident. This particularly applies to monitoring the condition of a water body into which an emergency discharge of chemical pollutants may occur.

In this article, the authors provide proposals for organizing the monitoring of surface water quality in the event of contamination by establishing control points. To assess the condition of a water body along its length, it is recommended to use integral (in a spatial sense) water quality indicators. For an accurate integral assessment, it is necessary to classify control points according to their significance. This classification can be carried out using expert

assessments provided by PLAS developers. The authors propose a statistical method for verifying the consistency of expert judgments using the concordance coefficient.

A demonstrative implementation of the recommendations presented in the article is carried out using the example of the Municipal Enterprise «Kharkivvodokanal,» which operates two biological water treatment complexes (hereinafter referred to as BTC). These complexes are potentially hazardous facilities in terms of possible accidents. Furthermore, given the ongoing military actions, sabotage by the aggressor state is also a possible threat. In both cases, there is a risk of contamination of the Siverskyi Donetsk River, which serves as a drinking water source for three regions of Ukraine.

As an addition to PLAS, it is proposed to establish control points near the locations of regular discharges of municipal and industrial wastewater from enterprises, as well as beyond the boundaries of populated areas. The authors present an example of a statistical verification of the consistency of expert judgments using the concordance coefficient in ranking the established river water quality control points.

Keywords: environmental safety, potentially hazardous enterprise, accident, control point, classification, expert judgment, concordance coefficient.

Загальна суть проблеми

Для потенційно небезпечних підприємств в Україні та з метою підвищення рівня їх екологічної безпеки, розробляються плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС). Розробка ПЛАС регулюється наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 17.06.1999 р., № 112 [1]. Відповідно до п. 4.1, метою ПЛАС є планування дій (взаємодії) персоналу підприємства, спецпідрозділів, населення, центральних і місцевих органів виконавчої влади щодо локалізації і ліквідації аварій та пом'якшення їх наслідків. З погляду екологічної безпеки, найважливішим випадком є аварія рівня В, яка може поширитися за межі території підприємства, можливістю впливу вражаючих чинників аварії на розташованих поблизу населених райо-

нів та на інші підприємства (об'єкти), а також на довкілля. При тому ПЛАС не регулює порядок контролю за станом складових довкілля, які можуть постраждати у випадку аварії. Зокрема це стосується контролю за станом водного об'єкта (далі – ВО), у якій може бути здійснений аварійний скид хімічних речовин. Тому актуальним є розроблення пропозицій з організації контролю за станом ВО у випадку аварії на потенційно небезпечних підприємствах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Ключові складові контролю за станом поверхневих вод в зоні дії аварії наступні [2]:

- 1) Перелік показників забруднення;
- 2) частота відбору проб;
- 3) розташування пунктів контролю (ПК).

Перелік показників забруднення визначається з урахуванням типу виробництва та виду аварії. На думку авторів, при розробці ПЛАС повинні бути розрахованими прогнози різних сценаріїв аварій, і для кожного випадку повинен бути свій запропонований перелік пріоритетних показників. Також у ПЛАС повинна бути зафіксована частота відбору проб. Визначення оптимальної частоти відбору проб, при якій буде забезпечена висока інформаційна підтримка дій з ліквідації аварії, але не буде значної часової затримки на проведення надлишкових хімічних аналізів, було досліджено в роботах [3, 4]. У кожному ПК визначається якість природної води за окремими показниками. Також можливе використання комплексних показників [5] як приклад, індекс забруднення води (ІЗВ) [6].

Однак, вищезгадані підходи спрямовані на оцінку якості води в певній точці і не містять методичний інструментарій, що дозволяє зробити висновок про стан ВО в цілому (або протяжної його частини). З огляду на це, актуальним є використання інтегральних показників якості води у просторовому розумінні (тобто на відміну від інтегральних показників, як БСК, ХСК, загальна мінералізація тощо), які обумовлені східною шкідливою дією окремих складових природної води [7, 8]. Але для більш належної інтегральної оцінки доцільно класифікувати ПК за ступенем їх значимості.

Мета роботи

Метою роботи є надання пропозицій з організації контролю за станом поверхневих вод при розробленні ПЛАС в частині розташування ПК та їх класифікації за ступенем їх значимості.

Результати досліджень.

В загальному вигляді інтегральний показник визначається за формулою [9]:

$$I = \sum_{j=1}^n w_j \cdot p_j, \quad (1)$$

де w_j – ваговий коефіцієнт j -го ПК; p_j – якість води за деяким показником у j -му ПК; n – кількість ПК.

Для встановлення вагових коефіцієнтів можна скористатися експертним висновком. Експертами можуть бути фахівці, які приймають участь в розробленні ПЛАС.

Після розташування пунктів контролю вздовж ВО експертами проводиться аналіз значимості кожного ПК з позиції близькості до населеного пункту, питного водозабору, організованих та неорганізованих зон відпочинку, рибальства тощо. Така оцінка може вважатися надійною лише за умови узгодженості суджень окремих фахівців-експертів. Одним із способів оцінювання узгодженості експертних висновків є використання коефіцієнта конкордації. Суть такого методу полягає у наступному [9, 10]. Нехай є n деяких об'єктів (в даному випадку – ПК), що підлягають класифікації, і m експертів. Кожен j -й експерт здійснює самостійно класифікацію об'єктів. В результаті утримується матриця рангів $\{x_{ij}\}$, де $x_{ij} \in \{1, \dots, n\}$. (i – індекс об'єкту).

Для подальших розрахунків призначені експертами кількісні характеристики (ранги) перераховуються у вагові коефіцієнти шляхом опосередкування:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m}. \quad (2)$$

Після цього проводиться нормування вагових коефіцієнтів:

$$w_i = \frac{Z_i}{\sum_{k=1}^n Z_k}, \quad i = 1 \div n. \quad (3)$$

У разі, якщо узгодженість суджень «ідеальна», то усі судження збігаються:

$$x_{i,1} = x_{i,2} = \dots = x_i, m, i = 1 \div n. \quad (4)$$

Якщо ситуація суперечлива (тобто, судження абсолютно неузгоджені), для кожного об'єкта і значення рангу x_{ij} – випадкова дискретна рівномірно розподілена величина в інтервалі від 1 до n з математичним очікуванням:

$$M_x = (n+1)/2 \quad (5)$$

Контрольною величиною під час перевірки гіпотези про узгодженість експертних суджень буде величина:

$$H = m \cdot (n-1) \cdot W \quad (6)$$

де W – коефіцієнт конкордації [11], що дорівнює:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (7)$$

де S – величина, яка розраховується за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (n+1) \right)^2 \quad (8)$$

Оскільки величина S залежить від рангів x_{ij} , які у даній задачі розглядаються як випадкові величини, тоді як S – також випадкова величина. Як наслідок, випадковою буде і контрольна величина H , яка, згідно з дослідженнями [9], розподілена за законом χ^2 .

Проте вищеописаний механізм оцінки узгодженості експертних суджень передбачає, що кожному об'єкту надається свій унікальний ранг, тобто кількість об'єктів збігається з кількістю можливих рангів. Але при ранжируванні ПК така кількість рангів є зайвою.

Якщо кількість рангів дорівнює R ($R < n$), математичним очікуванням величини x_{ij} буде значення

$(R+1)/2$, і у формулах (5–8) величина n змінюється на R .

Кількісні характеристики значимості можуть призначатися за 4-бальною системою відповідно до таблиці 1 (тобто $R = 4$).

Остаточно для об'єктивної перевірки узгодженості експертних суджень виконуються наступні дії:

– з врахуванням (5-8), розраховується емпірична величина за результатами експертизи:

$$\chi_{emp}^2 = m \cdot (R-1) \cdot \frac{12}{m^2 \cdot (n^3 - R)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (R+1) \right)^2 \quad (9)$$

– знаходиться значення $\chi_{кр}^2$, що дорівнює квантилі порядку $1-\alpha$ (де α – ймовірність похибки) розподілу χ^2 зі ступенем свободи $R-1$;

– порівнюються значення χ_{emp}^2 і $\chi_{кр}^2$; якщо $\chi_{emp}^2 > \chi_{кр}^2$, то контрольна величина H вважається статистично значимою, а судження експертів узгодженими.

Якщо судження експертів виявляються неузгодженими, завдання призначення вагових коефіцієнтів повторно ставиться перед фахівцями-експертами.

Таблиця 1

Відповідність якісних та кількісних характеристик значимості ПК

Якісна характеристика значимості ПК	Кількісна характеристика значимості ПК (ранг)
НАЙВАЖЛИВИШИЙ	4
ДУЖЕ ВАЖЛИВИЙ	3
ВАЖЛИВИЙ	2
НЕ ДУЖЕ ВАЖЛИВИЙ	1

Демонстраційний розрахунок був зроблений для Комунального підприємства (КП) «Харківводоканал». На підприємстві є два комплекси біологічної очистки (КБО), а саме – Диканівський та Безлюдівський [12]. Приблизна річна продуктивність комплексів – відповідно 150 млн м³/рік та 55 млн м³/рік. Скид стічних вод з КБО Безлюдівський здійснюється безпосередньо в р. Уду, притоку річки Сіверський Донець; а скид стічних вод з КБО Диканівський здійснюється у річку Лопань, притоку в р. Уду. Обидва підрозділи КП «Харківводоканал» є

потенційно-небезпечними об'єктами. Про це свідчить зокрема, аварія у 1995 році на КБО Диканівський, яка приблизно на місяць ускладнило водопостачання та водовідведення міста Харкова. Що призвело до суттєвого біохімічного забруднення води річки Сіверський Донець, яка є, по-перше, трансграничною і, як наслідок, об'єктом особливої уваги, по-друге, річка є джерелом питного водопостачання трьох областей України. Тому, як для потенційно-небезпечних об'єктів, для кожного з підрозділів були розроблені ПЛАС.

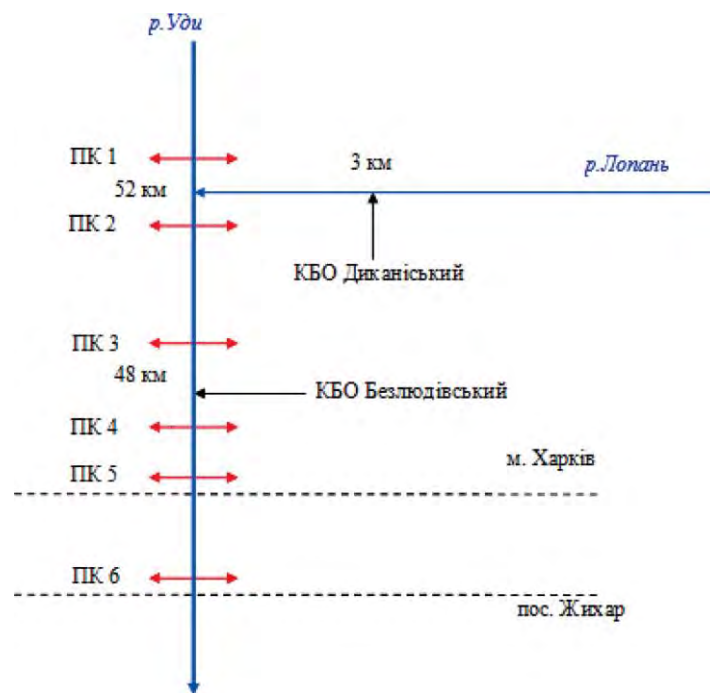


Рисунок 1. Схема водовідведення КП «Харківводоканал» та розташування ПК якості води річки Уди у зоні впливу підприємства (відстані наведені до гирла річок)

Таблиця 2

Експертні оцінки (ранги) стосовно значимості ПК

Пункт контролю, і	Експерт, j				
	1	2	3	4	5
ПК1	2	3	2	1	2
ПК2	4	3	4	3	4
ПК3	1	1	2	2	1
ПК4	3	3	2	4	3
ПК5	2	2	1	3	2
ПК6	3	2	3	2	4

Вагові коефіцієнти ПК

Пункт контролю	Середня оцінка	Ваговий коефіцієнт
ПК1	2	0,14
ПК2	3,6	0,24
ПК3	1,4	0,09
ПК4	3	0,20
ПК5	2	0,14
ПК6	2,8	0,19
	$\Sigma = 14,8$	$\Sigma = 1$

Слід зазначити, що одночасна аварія на обох КБО мало ймовірна. Але з врахуванням воєнних дій, що нині відбуваються в Україні, можлива диверсія з боку держави-агресора. Тому надалі буде розглянуте єдина класифікація ПК, які знаходяться в зоні дії обох КБО. Схема загального водовідведення КП «Харківводоканал» та розташування ПК представлена на рисунку 1.

Для проведення експертизи були призначені п'ять фахівців-експертів. У таблиці 2 наведені результати проведеної експертизи.

Результат опрацювання даних табл. 2 за наведеним алгоритмом наступний: $S = 81,5$, $W = 0,652$, $\chi^2_{\text{емр}} = 9,78$, $\chi^2_{\text{кр}} = 7,81$.

Оскільки $\chi^2_{\text{емр}} > \chi^2_{\text{кр}}$ експертні оцінки слід вважати узгодженими.

У таблиці 3 наведений розрахунок вагових коефіцієнтів ПК за формулами Як видно з показників таблиці 3, найбільш значимим ПК, на думку експертів, виявився ПК2, розташований нижче впадіння річки Лопань, вода якої на значний відсоток складається зі стічних вод КБО Диканівський. На підставі хімічних аналізів з використанням вагових коефіцієнтів з'являється можливість розраховувати інтегральні показники якості природної води, які, на відміну від

точкових, містять інформацію про стан ділянки водного об'єкту. Розраховані у такий спосіб інтегральні показники будуть враховувати ступень значимості кожного з ПК.

Оскільки в Україні відсутні нормативи для значень інтегральних показників, що характеризують стан на ділянці ВО, висновки про допустимий рівень забруднення можливо робити шляхом порівняння зі станом ВО у зоні впливу підприємства у штатному режимі його роботи.

Висновки

Наведений у статті метод класифікації ПК якості води за їх значимістю в рамках системи контролю за станом ВО дозволить дедалі точно оцінювати стан ВО в зоні дії потенційно небезпечних підприємств. Запропонований метод рекомендується використовувати при розробленні ПЛАС з метою підвищення рівня екологічної безпеки підприємств ПК якості води рекомендується розташовувати поблизу меж населених пунктів, важливих місць водоспоживання та джерел інтенсивного антропогенного забруднення на ВО.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій: наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 17.06.1999 р. № 112 [Електронний ресурс]. – 1999. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0424-99>.
2. Пономаренко А. В. Роль інформаційного забезпечення у сфері цивільного захисту. / А. В. Пономаренко, Н. В. Рашкевич. // Проблеми надзвичайних ситуацій: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. 2023. – С. 196–198.
3. Elena Neverova-Dziopak, Anna Drożdżik. Analysis of long-term changes of tresna dam reservoir trophic state in terms of its location and the role in reservoirs cascade. *Ecological Engineering and Environmental Technology (EET)*, 1 (18). 2017. P. 135-148. doi: 10.12912/23920629/67001.
4. Picińska-Fałtynowicz J., Błachuta J. Wytyczne metodyczne do przeprowadzenia monitoringu i oceny potencjału ekologicznego zbiorników zaporowych w Polsce. Wersja 2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa.
5. Chalisa Veasommai Sillberg, Pratin Kullavanijaya, Orathai Chavalparit. Water Quality Classification by Integration of Attribute-Realization and Support Vector Machine for the Chao Phraya River. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. 22 (9). P. 70-86. doi: 10.12911/22998993/141364.
6. Рыбалова О. В. Комплексный подход к определению экологического состояния малых рек. / О. В. Рыбалова. // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. – 2011. – №33. – С. 88–98.
7. Власенко О. Г. Интегральні та комплексні оцінки стану навколишнього середовища / О. Г. Власенко, О. В. Рыбалова, С. Р. Артем'єв. – Харків: НУГЗУ, 2015. – 419 с.
8. Tien Zubaidah, Nieke Karnaningroem, Agus Slamet. The Self-Purification Ability in The Rivers of Banjarmasin, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 20 (2). P. 177-182 (2019) doi: 10.12911/22998993/97286.
9. Проскурнин О. А. Использование коэффициента конкордации для оценки согласованности экспертных суждений при ранжировании пунктов контроля качества воды водного объекта. / О. А. Проскурнин, С. А. Смирнова. // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. – 2014. – №36. – С. 93–99.
10. Рева А.Н. Упрощенное определение согласованности экспертов, оценивающих время выполнения операций боевого развертывания пожарно-технического вооружения. /А.Н. Рева. В.М. Стрелец.// Математичне та комп'ютерне моделювання складних систем. 2015. – № 10 (135). – С. 235-237.
11. Daniel Pelliccia. The Concordance Correlation Coefficient [Електронний ресурс] / Daniel Pelliccia – Режим доступу до ресурсу: <https://nirpyresearch.com/concordance-correlation-coefficient>.
12. Hatoum R., Potier O., Roques-carres T., Lemaitre C., Hamieh T., Toufaily J., Horn H., Borowska E. 2019. Elimination of Micropollutants in Activated Sludge Reactors with a Special Focus on the Effect of Biomass Concentration. *Water*, 11, 2017. doi: 10.3390/w11112217.

УДК 502.51(28):502.171:502.14

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-02>

КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ

Маркіна Л. М.¹ Власенко О. В.¹Копаниця О. Б.¹ Зудіков А. О.²¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035markserg@ukr.net
olegvvv@gmail.com²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
проспект Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005

Інтенсивний розвиток промисловості обумовлює потребу у мінімізації негативного впливу виробничих стічних вод на водні ресурси. Через значну різноманітність складу, властивостей і обсягів стічних вод від промислових об'єктів виникає потреба у використанні спеціалізованих методів та споруд для локального, попереднього і повного очищення таких вод. Водний об'єкт може бути багатфакторною екологічною системою, тому у зв'язку з цим порівняння концентрацій полутантів відповідно до та після проведення промислового водоочищення поки що, лише наближає Україну до встановлення екологічної ефективності.

Актуальність теми полягає у покращенні критеріїв ефективності технологій очищення промислових стічних вод та екологічної ситуації промислових регіонів України. Разом з цим, виникають критерії ефективності та екологічної безпеки у технологіях очищення промислових стічних вод та водопідготовки у зв'язку з підвищенням вимог до промислових підприємств.

Сучасна військова та екологічна ситуація в Україні зумовлює першочергове застосування вугільних сорбентів для водоочищення та водопідготовки. Останнім часом, коло реагентів для вилучення забруднюючих речовин з водного середовища розширюється, з цією метою використовуються вторинні мінеральні ресурси.

Вибір методів дослідження ґрунтується на критеріях ефективності та екологічної безпеки технологій.

Економічна доцільність очищення підвищується при використанні як сорбентів дешевих матеріалів, відходів, серед яких виділяються шлаки різних виробництв. Застосування таких підходів не лише зменшує вартість технологій, але й сприяє повторному використанню промислових відходів, що є додатковим кроком до сталого розвитку.

В оглядовій статті порівнюється використання різних методів очищення промислових стічних вод, наведено критерії ефективності екологічної безпеки та можливості вдосконалення існуючих технологій з урахуванням сучасних викликів.

Ключові слова: очисні споруди, знезараження води, хімічні речовини, екологічна безпека, техногенне навантаження, нормативна база, промислові стічні води, надзвичайна ситуація, технології водоочищення.

Criteria for efficiency and environmental safety of industrial wastewater treatment technologies in ukraine. Markina L., Vlasenko O., Kopanytsia O., Zudikov A.

The rapid development of industry necessitates minimizing the negative impact of industrial wastewater on water resources. Due to the significant var-

iability in composition, properties, and volumes of wastewater generated by industrial facilities, specialized methods and treatment structures are required for local, preliminary, and full-scale purification. Since water bodies function as complex, multifactorial ecological systems, merely comparing pollutant concentrations before and after industrial water treatment brings Ukraine only closer to establishing true ecological efficiency.

The relevance of this study lies in improving the criteria for assessing the efficiency of industrial wastewater treatment technologies and enhancing the environmental conditions of Ukraine's industrial regions. At the same time, stricter environmental regulations for industrial enterprises demand the development of new efficiency and safety criteria for both wastewater treatment and water purification technologies.

Given Ukraine's current military and environmental situation, the use of carbon-based sorbents for water treatment and purification has become a priority. Recently, the range of reagents used for pollutant removal from aquatic environments has expanded, incorporating secondary mineral resources. The selection of research methods is guided by the criteria of technological efficiency and environmental safety.

The economic feasibility of wastewater treatment improves when cost-effective sorbents, including industrial by-products such as slags from various production processes, are utilized. This approach not only reduces the cost of treatment technologies but also promotes the reuse of industrial waste, aligning with the principles of sustainable development.

This review article compares various industrial wastewater treatment methods, presents criteria for evaluating environmental safety and efficiency, and explores opportunities for improving existing technologies in response to contemporary challenges.

Keywords: wastewater treatment facilities, water disinfection, chemical pollutants, environmental safety, anthropogenic impact, regulatory framework, industrial wastewater, emergency situations, water treatment technologies.

Постановка проблеми

Стан довкілля в Україні характеризується значним антропогенним впливом, який спричиняє серйозні загрози природному середовищу. У багатьох регіонах екологічна ситуація є кризовою, а окремі території офіційно визнані зонами екологічного лиха. До цього призвели тривалі

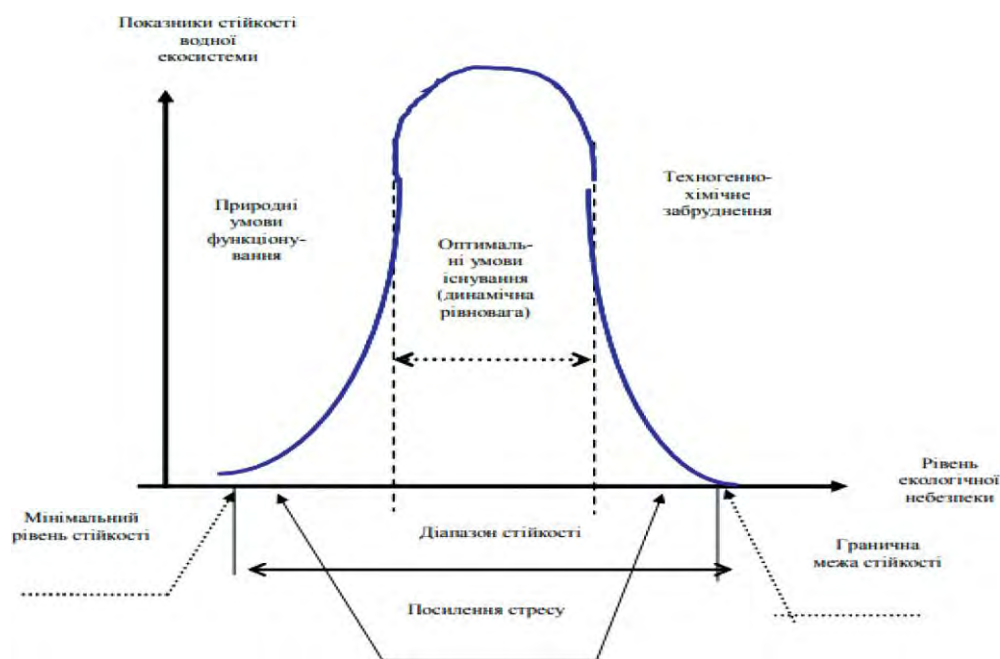


Рисунок 1. Існування водних екосистем в умовах техногенно-хімічного забруднення поверхневих природних вод

військові дії зі сторони росії, безвідповідальне використання природних ресурсів, застарілі технологічні процеси, відсутність сучасного обладнання для очищення стічних вод, масове накопичення відходів та низький рівень екологічної культури серед працівників промислових підприємств. Водночас завдяки підтримці Європейського Союзу зокрема, у вигляді фінансування та регулярного моніторингу, в деяких регіонах вдалося досягти певних позитивних змін. Це стосується покращення умов у місцях накопичення та зберігання металургійних шлаків, а також та підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок впровадження інноваційних технологій очищення, які сприяють зменшенню обсягів забруднених стоків. Успіх цих заходів демонструє важливість комплексного підходу до вирішення екологічних проблем, який включає як технологічну модернізацію, так і посилення екологічної відповідальності (рис. 1). В сфері очищення стічних вод таким напрямком є розроблення водовідвідних систем з мінімальним скиданням стічних вод у водний об'єкт або без скидання – безстічні [1].

Побудова інтелектуальних систем очищення води, споруд очищення є необхідним рішенням для їх екологічно безпечного функціонування при цьому техніко-економічне обґрунтування промислового використання таких програмно-апаратних комплексів полягає у зменшенні витрат на використання ресурсів у штатному режимі (електроенергія, реагенти) та недопущення нештатних ситуацій.

Методологічне або загальнонаукове значення

Для здійснення дослідження було використано такі методи: систематизація матеріалу, наукового узагальнення, порівняння. Вони дозволили виявити та усвідомити просторову диференціацію та різноманітність факторів, що надають вплив на критерії ефективності та екологічної безпеки технологій очищення стічних промислових вод.

Мета статті – забезпечити екологічну безпеку шляхом мінімізації накопичення промислових стічних вод та використання різних ефективних

речовин і техногенної сировини в технологіях очищення промислових стічних вод від органічних забруднювачів.

Актуальність дослідження

Для успішного вирішення поставлених завдань необхідне знання фізико-хімічних технологічних процесів очищення стічних вод. Одним з перспективних способів очищення води є сорбційна технологія. Сорбційний метод вирізняється високою ефективністю, яка становить 85-95%, здатністю очищувати воду від різноманітних забруднень, збереженням стабільної сорбційної ємності сорбенту та можливістю його відновлення, що дозволяє забезпечити циклічний характер роботи. Важливими характеристиками сорбції є: швидкість процесу та її залежність від температури, ізотерма сорбції, природа взаємодії між сорбатом та сорбентом, орієнтація сорбованих молекул на міжфазному кордоні.

Економічна доцільність сорбційного очищення підвищується при використанні як сорбентів дешевих матеріалів, відходів, серед яких виділяються шлаки різних виробництв [2]. У літературі є відомості про вивчення сорбційних характеристик природних сорбентів та промислових відходів різного походження щодо неорганічних та органічних забруднювачів при очищенні промислових стічних вод [3–4]. Рентабельність використання металургійних шлаків досягається за рахунок застосування їх як сорбентів. Сорбційно-активні техногенні матеріали мають велике значення для промислової екології при очищенні стічних вод від мінеральних забруднювачів [5].

Основні методи очищення стічних вод:

1. *Механічні (фізичні)*: передбачають використання таких процесів, як фільтрація, відстоювання, гідроциклонування тощо.
2. *Хімічні*: засновані на застосуванні хімічних реагентів, які вводяться у водні розчини для виконання процесів, як-от: флокуляція, коагуляція, хлорування тощо.
3. *Фізико-хімічні*: включають технології електрокоагуляції, електрофлотації, окислення, флокуляції, іонообміну, коагуляції та сорбції.

Таблиця 1

Загальне порівняння різних способів очищення стічних вод

Методи очищення стічної води	Вартість очищення 1 м ³ , грн	Оцінка ефективність вилучення неорганічних забруднювачів	Оцінка ефективність вилучення органічних забруднювачів
Механічним	1,5 – 10,0	Низька	Низька
Фізико-хімічним	5,00 – 100,00	Висока	Середня
Хімічним	8,00 – 600,00	Висока	Висока
Біологічним	5,0 – 80,00	Низька	Висока

4. *Біологічні*: здійснюються за допомогою мікроорганізмів, що проводять біологічне окислення, наприклад, у системах аеротенків чи біологічних ставків.

5. *Комбіновані*: поєднують способи очищення для усунення як органічних, так і неорганічних забруднень (табл.1) [6, 7].

Виклад основного матеріалу

Наразі практично єдиним способом, що дозволяє очищати промислові стічні води від нафто- та мастильних матеріалів до рівня ГДК незалежно від їхньої хімічної стійкості та без внесення у воду будь-яких вторинних забруднень є сорбція. Цей безінерційний рівноважний процес успішно використовується як при нормальній експлуатації у виробничих умовах, а також при ліквідації аварій. У зв'язку з цим є актуальним правильний вибір сорбційного матеріалу для вирішення конкретних виробничих завдань для очищення вод від неорганічних та органічних сполук.

Для підвищення ефективності сорбції з води органічних забруднювачів розробляються нові види вуглецевих сорбентів. Для очищення води від фенолу рекомендується застосовувати вугільний ентеросорбент, що довів високу ефективність сорбції у статичному та динамічному режимах роботи з мінімальним часом повного поглинання фенолу 15 с. У роботі [8] показано можливість промислового виробництва та застосування термічно модифікованого дефекату – обпаленого відходу цукрової промисловості,

для очищення стічних вод від нафтопродуктів та інших органічних компонентів.

Шлаки сталеливарного виробництва можуть сорбувати зі стічних вод іони Pb^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NH_4^+ , знижувати величину БПК₅ та ГПК. Запропонована попередня солянокислотна активація електросталеплавильного шлаку та розроблені рекомендації щодо використання отриманого після сорбції осаду як мікродобрива. Доведено що, можливість сорбції іонів хрому сталеплавильним пилом [9]. Окалина від прокатки сталі є високоефективним сорбентом для іонів міді. Розроблена сорбційна технологія вилучення міді зі стічних вод гранульованими піритними недогарками [10,11]. Внаслідок сорбції отримано концентрат містить 4,5% міді, що дозволяє використовувати його у виробництві міді. Очевидно, що в теперішніх екологічних умовах потрібно докорінно змінити функціональну схему підприємств. Вона мусить протидіяти надзвичайним ситуаціям (рис. 2) [12].

Запропоновано використовувати отриманий адсорбент для очищення стоків кольорової металургії та для іммобілізації радіонуклідів. Розглянута можливість створення системи очищення стоків підприємств кольорової металургії від катіонів Ni, Cu, з використанням сорбентів на основі металургійних шлаків цих підприємств [13]. Показано, що відпрацьований сорбент, що містить до 5,0–5,5% кольорових металів (Ni, Cu, Co), може використовуватися як сировина в рудно-термічних печах; ступінь вилучення нікелю становить 99,9%, а запропоноване технічне рішення дозволить організувати частково замкне-

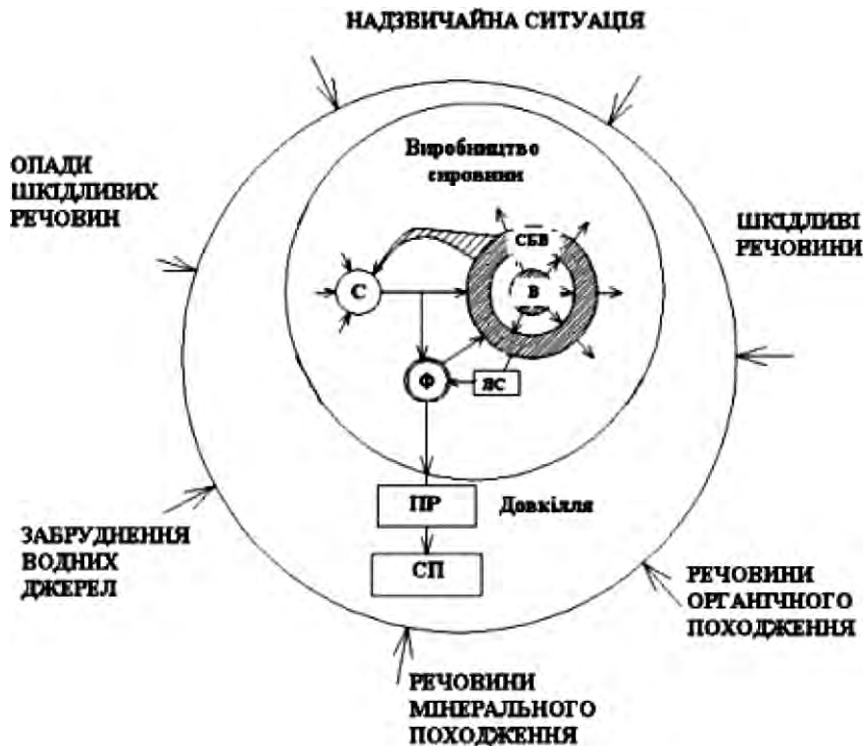


Рисунок 2. Екологічно безпечні схеми запобігання дії надзвичайних ситуацій, на підприємствах за каналом «водопостачання»

ний цикл сировини. Технологічна реалізація процесів водоочищення проходить згідно нормативно правових документів та порівнюється з ЄС (табл. 2).

Авторами роботи [14] досліджено фільтруючі завантаження з використанням шлакового гравію з переважним вмістом кремнію. Для досліджень використовували воду першого відстійника міських очисних споруд. Вміст завислих речовин у перші години фільтрації зменшується вдвічі, надалі ступінь очищення збільшується до 85,3%. Вміст хлоридів зменшується з 125 до 78,3, хрому – з 0,49 до 0,06, фосфатів – з 2,34 до 1,26 мг/дм³ здійснюється подачею зверху 10 дм³ очищеної води в кожену колону. Розроблено [15] адсорбційно-активні матеріали, що синтезуються за технології твердіючих мінеральних дисперсій – магнезіально-залізисті сорбенти (МЗС-сорбенти) на основі магнезіально-залізистих шлаків підприємств кольорової металургії для очищення технологічних стоків рідких радіоактивних відходів з наступною іммобілізацією. Досліджено вплив сольового фону та концентрації ¹³⁴Cs у рідких радіоактивних відходах на сорбційні характеристики МЗС-сорбенту. Встановлено,

що при низькому сольовому тлі зміна концентрації цезію у встановлених межах (від 0,052 до 1 мг/дм³) не впливає на ступінь його вилучення з розчинів і вона становить 97–95%. Меншою мірою цезій сорбується з морської води (ступінь мінералізації 42,8 г/дм³, концентрація цезію 0,12 мг/дм³) рівновага настає. Сполуки важких металів, які стічні води гальванічного виробництва виносять у процесі роботи, вкрай негативно впливають на екосистему. Стічні води умовно поділяються на два потоки та надходять у відповідні збірники:

- хромові стоки надходять у приймальний бак хромових стоків;
- кислотні, лужні, нікелеві та комплексні стоки надходять у приймальний бак інших відходів. До нього ж після попереднього очищення надходять стоки хромових відходів.

Хромові стічні води збираються у приймальний бак. Перекачуються в бак-реактор для проходження процедури опрацювання. Оброблення полягає в додаванні реагентів для проведення реакцій. Спочатку виконується процедура регулювання рівня кислотності до значень рН 2.0... рН 2.5 за допомогою дозування соляної кислоти

Таблиця 2

Порівняння українських та міжнародних нормативних баз водоочищення

Нормативний документ	Міжнародні документи	Недоліки (у контексті НС)
Контроль якості стоків		
– Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95–ВР; – Закон України «Про охорону навколишнього середовища» затвердженого 25.06.1991 р.; – Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» від 24.02.1994 № 4004–ХІІ. База даних «Законодавство України»; – Закон України «Про захист населення від інфекційних хвороб» від 06.04.2000 № 1645–ІІІ. База даних «Законодавство України»	– Рамкова директива 200*60/ЄС Європарламенту та ради Європи про воду (Water frame Direktory, WFD); – Директива 98/83/ЄС «Щодо якості питної води»; – Primare Drinkig Water Regulations (U.S.EPA)	Не пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
– Правила приймання стічних вод підприємства в комунальні і відомчі системи каналізації населених пунктів України; – Правила охорони поверхневих вод, від забруднення зворотними водами, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 року № 465	– Директива про очистку міських стічних вод (91/271/ЄС) – Директива щодо інтегрованого контролю і запобігання забруднення (96/61/ЄС)	Не пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
– Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755–VI, розділ VII «Екологічний податок»	– Програма дії по охороні довкілля Міжнародної організації співпраці («забруднювач платить»); – Федеральний податок страхового характеру на дію НС (США)	Пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям лише у США
Проектування систем водоочищення		
– ДБН В.2.5.-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»	Commission Implementing Decision (EU) 2018/1147 of 10.08.2018 establishing best available techniques (BAT) conclusions for waste treatment, under Directive 2010/75/EU of the European	Не розраховуються режими роботи водоочисного обладнання в умовах надзвичайних ситуацій
Дія надзвичайних ситуацій		
– Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. № 37*р схвалено Концепцію управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру; – Постанова Кабінету Міністрів України від 26.09.2016 р. № 779 «Деякі питання запобігання виникненню надзвичайних ситуацій»	– Директива Ради Європи № 89/391/ЄС – Сімейство стандартів ISO 1400	В Україні лише декларується загроза Національній безпеці від небезпечного водоскиду в умовах надзвичайних ситуацій

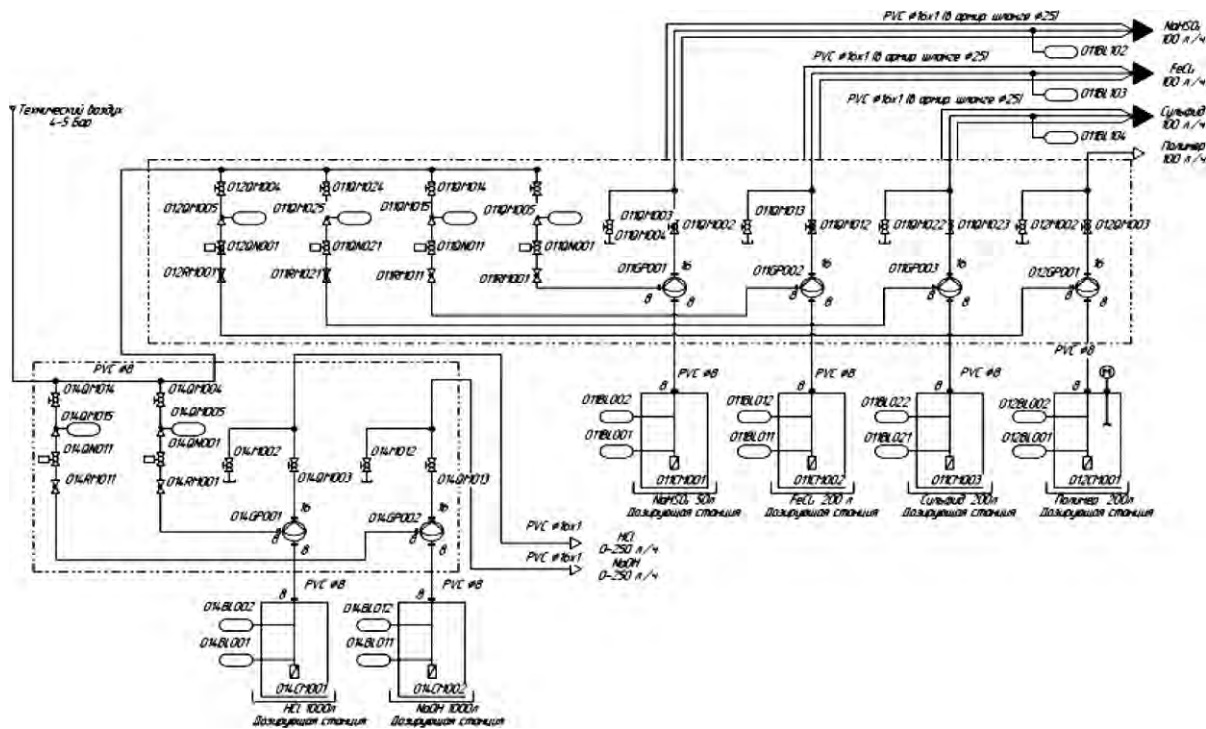


Рисунок 3. Обработка сточных вод реагентами

HCl або 50%-ного розчину лугу (NaOH). Після дозується 25%-ний розчин бісульфіду натрію до тих пір, поки перестає змінюватися окислювально-відновний потенціал. На наступному етапі відбувається процедура регулювання рівня кислотності для хромових стічних вод у баку-реакторі. Для чого дозується 50% розчин лугу NaOH до встановлення рівня кислотності pH 5.0 – дозування лугу може коригуватися соляною кислотою (HCl) до встановлення рівня кислотності pH 6.0. Після встановлення pH від 5.0 до 6.0 оброблений розчин перекачується в приймальний бак, що знаходиться після баку реактора. Технологія оброблення виробничих стічних вод з гальванічної ділянки реагентами (рис. 3) [16].

За результатами контролю якості стічних вод приймається рішення:

- у разі недосягнутих показників якості стічної води спрямовуються в приймальний бак для проходження повторної процедури очищення;
- у разі досягнення показників якості стічна вода зливається у каналізацію.

Стічна вода, що містить осад у баку шламу, періодично подається на фільтрпрес. Осад із фільтр-пресу потрапляє до збірки. Для зниження загального вмісту солі води є установка зворотного осмосу (рис. 4). Знесолювання води досягається за рахунок фільтрування її через напівпроникні мембрани, здатні затримувати іони солей. Концентрат скидається в каналізацію [17].

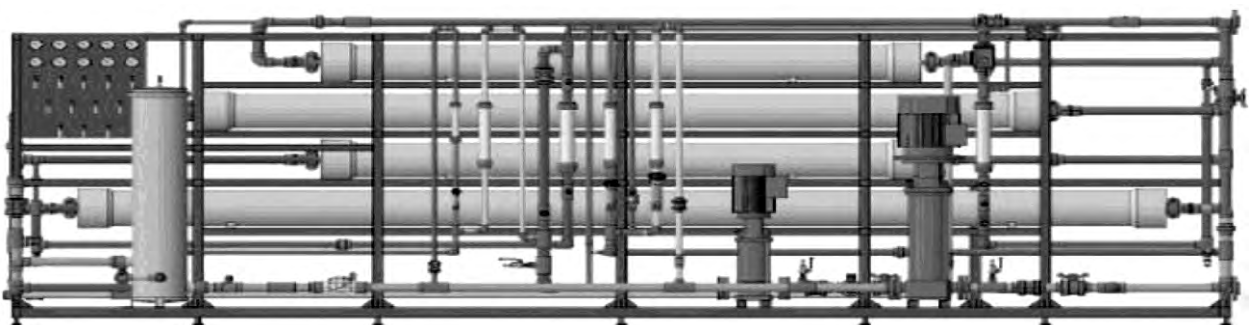


Рисунок 4. Встановлення зворотного осмосу

Таблиця 3

Показники якості води

Параметр	Вихідна вода		Концентрат		Пермеат	
	1 ступінь	2 ступінь	1 ступінь	2 ступінь	1 ступінь	2 ступінь
NH ₄	0.40	0.01	1.03	0.04	0.01	0.00
K	8.99	0.07	23.33	0.47	0.07	0.00
Na	111.04	0.82	309.24	73.99	0.82	0.09
Mg	48.00	0.07	124.42	0.48	0.07	0.00
Ca	300.60	0.43	779.13	2.93	0.43	0.00
Sr	2.98	0.00	7.72	0.03	0.00	0.00
Ba	0.07	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00
CO ₃	0.55	0.00	5.67	4.20	0.00	0.00
HCO ₃	305.02	2.54	835.52	188.33	2.54	0.54
NO ₃	0.19	0.01	0.48	0.04	0.01	0.00
Cl	3.55	0.01	9.19	0.06	0.01	0.00
F	2.39	0.02	6.21	0.13	0.02	0.00
SO ₄	905.90	1.24	2348.01	8.52	1.24	0.00
CO ₂	21.23	19.40	20.84	0.70	19.40	0.22
TDS	1690.69	5.21	4450.14	279.29	5.21	0.64
pH	7.30	5.45	7.67	8.69	5.45	6.73

Така технологія очищення води дозволяє досягти наступних показників води (табл. 3) [18].

У такий спосіб, прийнята та реалізована технологія очищення стічних вод гальванічної ділянки дозволяє досягти високої якості очищення води по важких катіонах металів та відповідає вимогам прийому стічних вод у міську каналізацію. Авторами запропоновано побудувати інтелектуальні споруди для очищення промислових вод для їх екологічно безпечного функціонування при цьому технікоекономічне обґрунтування промислового використання таких програмно-апаратних комплексів полягає у зменшенні витрат на використання ресурсів у штатному режимі (електроенергія, реагенти) та недопущення загибелі персоналу (нештатні ситуації). Програмне забезпечення створено мовою Python з використанням кросплатформового фреймворку Qt.

Для очищення стічних вод від ПАР на рівні високих концентрацій, авторами запропоновано раціональну протиточно-ступінчасту схему періодичної дії [20].

Для систем, які використовують механічні (фізичні) методи очищення, характерні такі технологічні недоліки:

- Часткове засмічення фільтрувальних елементів може спричиняти утворення колоній бактерій на робочих пристроях очищення (фільтрах, картриджах).

- Відфільтрована маса, накопичена у фільтрах, центрифугах, відстійниках чи гідроциклонах, є шкідливою для людини й довкілля.

Недоліки фізико-хімічних методів очищення:

- Ефективно знищують лише віруси, мікроби та бактерії, але не усувають продукти їхньої життєдіяльності, які можуть бути навіть більш небезпечними.

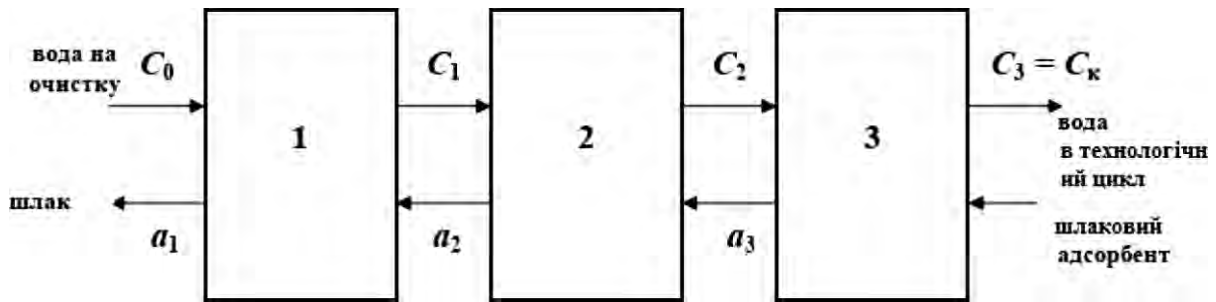


Рисунок 5. Схема протиточно-ступінчастої адсорбційної очистки стічних вод від ПАР:
(1–3) – адсорбери з відстійниками адсорбційного каскаду;
 C – концентрації ПАР; a – ємність адсорбенту на кожному ступені очищення

- Руйнують корисну мікрофлору, необхідну для людини.

- Мають обмежений ефект за високих концентрацій забруднювачів та недостатню проникаючу здатність.

Недоліки хімічних методів очищення:

- Хімічні реакції можуть призводити до утворення нових шкідливих сполук, небезпечніших за початкові забруднювачі.

- Утворюється значний обсяг шкідливих залишків у вигляді комплексу «відпрацьований реагент та забруднювач».

- Руйнується корисна мікрофлора.

Недоліки біологічних методів очищення:

1. Високі вимоги до дотримання технологічних параметрів (температура, тиск води), що спричиняє значні витрати енергоресурсів або може зупиняти процес очищення.

2. Біологічні методи очищення стічних вод базуються на використанні бактерій та біологічних процесів, які здійснюють біологічне окислення. До них належать аеротенки, біологічні ставки тощо.

3. Комбіновані методи очищення стічних вод поєднують у собі засоби для видалення як органічних, так і неорганічних забруднювачів.

Висновки

Усі сучасні методи видалення забруднювальних речовин зі стічних вод базуються на використанні комплексу фізичних, хімічних і електротехнічних технологій. Основна мета дослідження полягає в удосконаленні критеріїв

ефективності технологій очищення промислових стоків та поліпшенні екологічної ситуації. Проведено детальний аналіз ключових методів очищення промислових стічних вод, що застосовуються в різних регіонах України, з акцентом на їхній ефективності та перспективності.

Список використаних джерел

1. Кобилянський В. Я. Плани забезпечення водопостачання та війна / В. Я. Кобилянський // Водопостачання та водовідведення. Спеціальний випуск. 2024. С. 50-58. URL: <https://ukrvodokanal.in.ua/wpcontent/uploads/2024/02/spetsvypusk-zhurnalu-za-lyutyj2024-roku-1.pdf> (дата звернення 24.11.2024).
2. Строкаль В. П., Шевчук С. А. Затоплення та підтоплення територій: ризики для водної та продовольчої безпеки регіонального рівня / В.П. Строкаль, С.А. Шевчук // Екологічні науки. 2023. № 4(49). С. 159–170. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.21>.
3. Strokal V., Kurovska A., Strokal M. More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view / V. Strokal, A. Kurovska, M. Strokal // Journal of Integrative Environmental Sciences. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920>.
4. Marques R. C., da Cruz N. F., Pires J. Measuring the sustainability of urban water services / R.C. Marques, N.F. Cruz, J. Pires. Environmental Science Policy. 2015. Volume 54. P. 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.003>.

5. Huang J., Bixler T., & Mo W. Building resilience for an uncertain drinking water future. *AWWA Water Science*, 2023, 1362,. <https://doi.org/10.1002/aws2.1362>
6. Chu-Ketterer L.-J., Platten W.E., III Bolenbaugh S. And Haxton T. Resilience Analysis and Emergency Response Evaluation for Drinking Water Systems. *J AWWA*. 2023. 115. C. 32–42. <https://doi.org/10.1002/awwa.2107>
7. Pamidimukkala A., Kermanshachi S., Adepu N., Safapour E. Resilience in Water Infrastructures: A Review of Challenges and Adoption Strategies / A. Pamidimukkala, S. Kermanshachi, N. Adepu, E. Safapour // *Sustainability*. 2021. 13(23):12986. P. 1-15. <https://doi.org/10.3390/su132312986>.
8. Hoslett, J. et al. Surface water filtration using granular media and membranes : A review. / J. Hoslett et al. *Sci. Total Environ*. 2018. vol. 639. P. 1268-82. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.247>.
9. Effendi, M.S. M., Azmi, Badrul & Saad, Mohd sazli & Abd. Rahim, Shayfull Zamree & Mat Saad, Mohd Nasir. Portable water purification system // Final report of the flood disaster assessment trial. 2017. P. 35-39. DOI: 10.13140/RG.2.2.16543.36008.
10. Shuryhin V., Rak Yu., Karabyrn V. Analysis of factors and development of methods for managing the environmental and civil safety of transboundary transportation of oil and oil products through pipelines. *ScienceRise*. 2020. 5, 51–56. DOI: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001484>.
11. Патент на корисну модель 138978 UA, МПК G05 13/00 (2006.01) Система управління водочищенням та водопідготовкою / В.М. Штепа; заявник В.М. Штепа, власник В.М. Штепа. – № 201906421; заявл. 10.12.2019; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 23. 4 с.
12. Штепа В.М., Пляцук Л.Д., Аблєєва І.Ю., Гурець Л.Л., Шерстюк М.М., Пономаренко Р.В. Обґрунтування еколого-енергетичного підходу до удосконалення технологічних регламентів систем водочищення. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2020. № 3(51). С. 3–19.
13. Zaiets N., Pavlov P., Shtepa V., Elperin I., Hachkovska M. Development of a resource–process approach to increasing the efficiency of electrical equipment for food production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 5. No 8(101). P. 59–65.
14. Кирильчук А., Наконечний Ю. Методологія та організація досліджень в науках про Землю: Навчальний посібник / Кирильчук А., Наконечний Ю. – Львів: ЛНУ Імені Івана Франка, 2021. – 496 с.
15. Екологія та раціональне природокористування: освіта, наука і практика [Електронний ресурс]: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Ломжа-Житомир, 15.11.2023 / За наук. ред.: Зоя Шарлович, Януш Лісовскі, Руслана Романюк. Частина 2. Видавець: MANS w Łomży, 2023. – 286 с.
16. Войтків П. Збалансоване природокористування: навчально-методичний посібник / П. Войтків, Є. Іванов. – Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2021. – 182 с.
17. Dreshpak O., Berezniak O., Berezniak O., Chechel P. The latest technologies for reuse of sludge of metallurgical enterprises in Ukraine. International scientific-technical conference MININGMETALTECH 2023 – The mining and metal sector: integration of business, technology and education. Vol. 2. 2023., pp. 185- 188. – <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-140>
18. Dreshpak O., Berezniak O., Berezniak O. (2023) Wet high gradient magnetic separation of kaolin clay. 6th International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative development of resource-saving technologies and sustainable 21 use of natural resources». Book of Abstracts. - Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing. - pp. 157–159
19. Hlukhoveria M., Mladetskyi I., Levchenko K. & Borysovska O. (2023) Improving the technology of extracting coal concentrate from fly ash from thermal power plants. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 33–39. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/033>
20. Berezniak, O. & Berezniak, O. (2022). Classification of demagnetized magnetite in an upward laminar flow. *Scientific Collection «InterConf+»*, 25(125), 168-176. – <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.09.2022.016>

УДК 614.7+628.3

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-03>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ОЧИСНИХ СПОРУД МІСТА ЗОЛОТОНОША В МЕЖАХ ДІЛЯНКИ РІЧКИ СУХА ЗГАР

Громова І. Ю.,¹ Печений В. Л.,¹
Яковлєв І. О.,¹ Попов О. Ю.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського 35, корпус 2, м. Київ, 03035

Denisenko15@ukr.net

pechevova@ukr.net

²КП «Міський водоканал», м. Золотоноша

Рівень якості очищення стічних вод великих міст впливає на загальну екологічну ситуацію, як населеного пункту, району, а в окремих випадках і області. З метою оцінювання ефективності функціонування очисних споруд зазвичай використовують гідрохімічні показники водойми, у яку скидаються очищені стічні води.

В статті досліджено діяльність КП «Міський водоканал» м. Золотоноша Черкаської області в частині впливу на річку Суха Згар. У процесі вивчення підприємства було проаналізовано дотримання законодавчо-нормативної бази в сфері екології, досліджено кількісний та якісний склад стічних вод, а також їхній вплив на екосистему р. Суха Згар.

Розроблено практичні рекомендації щодо покращення стану навколишнього природного середовища навколо досліджуваного об'єкту у вигляді комплексу заходів як теоретичного так і прикладного характеру.

Ключові слова: стічні води, очисні споруди, технології захисту навколишнього середовища.

Evaluation of the environmental impact of the zolotonosha wastewater treatment plant on the sukha zghar river section. *Hromova I., Pechenyi V., Yakovlev I., Popov O.*

The quality of wastewater treatment in large cities significantly influences the overall environmental

condition of the locality, district, and, in some cases, the entire region. To evaluate the efficiency of wastewater treatment facilities, researchers typically analyze the hydrochemical parameters of the receiving water body.

This study examines the operations of the municipal enterprise «Miskyi Vodokanal» in Zolotonosha, Cherkasy region, and its impact on the Sukha Zghar River. The research involved an assessment of compliance with environmental legislation and regulatory frameworks, an analysis of the quantitative and qualitative composition of wastewater, and an evaluation of its effects on the Sukha Zghar River ecosystem.

Based on the findings, practical recommendations have been developed to improve the environmental conditions surrounding the studied site. These recommendations include a set of measures of both theoretical and applied nature.

Keywords: wastewater, treatment facilities, purification technologies.

Постановка проблеми

Збереження природних водойм є одним із ключових напрямків досліджень як науковців-теоретиків так і дослідників-практиків. Малі річки і озера є природною екосистемою, пору-

шення якої призводить до незворотних наслідків, наприклад, зменшення популяцій рослин та тварин. Це викликає дисбаланс та підвищує ризик погіршення стану довкілля. Якісний склад комунальних стоків найчастіше негативно впливає на водні об'єкти.

Тому дослідження функціонування очисних споруд та скидання стічних вод у водні об'єкти є актуальною проблемою для дослідження.

Актуальність проблеми

Під час експлуатації очисних споруд м. Золотоноша виникла низка суттєвих недоліків та технологічних прорахунків, а саме:

- Відсутність грабельного відділення та жироловки перед головною каналізаційною насосною станцією (ГКНС);
- існуючі механічні ґрати не виконують свою функцію занадто мале приймальне відділення;
- стічна вода постійно перебуває у збуреному стані, що негативно впливає на роботу механічних ґрат;
- відсутність додаткових ємностей (усереднювача) та додаткової лінії особливо відчутна під час збільшення обсягів надходження стічної води;
- одна система тарілчастого типу, аерації працює неефективно;
- друга система аерації, внаслідок своєї неефективності та примітивності у виконанні, була замінена на комплект системи аерації «Аква Лайн М» виробництва науково-виробничої фірми з обмеженою відповідальністю «Екополімер» (український виробник обладнання для переробки відходів, м. Харків);
- проведені роботи дещо покращали роботу аеротенків, однак проблему об'єму повітря не вирішили.

Все це призвело до забруднення водного об'єкту скидами стічних вод, а саме р. Суха Згар.

Мета дослідження

Дослідження гідроекологічної та санітарно-гігієнічної характеристики р. Суха Згар на ділян-

ці впливу скиду стічних вод з очисних споруд м. Золотоноша з метою розроблення практичних рекомендацій щодо покращення стану навколишнього природного середовища водного об'єкту та оздоровлення прилеглих територій.

Викладення основного матеріалу

Відведення та очищення стічних вод м. Золотоноша забезпечує Комунальне підприємство «Міський водоканал» (далі – КП), основними напрямками діяльності якого є: забір, очищення та постачання води; напрямками діяльності якого є: забір, очищення та постачання води; каналізація, відведення й очищення стічних вод; збирання безпечних відходів; монтаж водопровідних мереж; систем опалення та кондиціонування тощо.

Очисні споруди каналізації м. Золотоноша Черкаської області введені в експлуатацію у 1982 році з використанням типового проєкту і призначалися для очищення суміші промислових та господарсько-побутових стічних вод.

Загальна площа території комплексу очисних споруд (КОС) з урахуванням комунікацій і під'їзних автодоріг складає 3,5 га. Потужність очисних споруд за преком складає 4000 м³/добу, а фактична, як показала практика – 1800-2200 м³/добу.

Методи очищення стічних вод – механічний та біологічний з доочисткою [1-2].

Міські (складаються з виробничих та господарсько-побутових об'єктів) стічні води через самотпливний каналізаційний колектор потрапляють до каналізаційно насосної станції (КНС), потім у резервуар головного каналізаційно насосної станції (ГКНС), звідки насосами подаються у приймальну камеру комплексу очисних споруд (КОС), де відбувається зменшення напору та подрібнення відходів. Подрібнені відходи разом із потоком стічної рідини через відвідний канал подаються на горизонтальні пісковловлювачі які призначені для видалення важких механічних домішок та зневоднення піску. З горизонтальних пісковловлювачів стічні води потрапляють по каналу, у водовимірювальний лоток Вентурі, і насамкінець, подаються на первинні відстійники, де відбувається осадження важких частинок [2]. Далі відвідним лотком, стічні води потрапляють у аеротенк, після чого надходять на вторинні

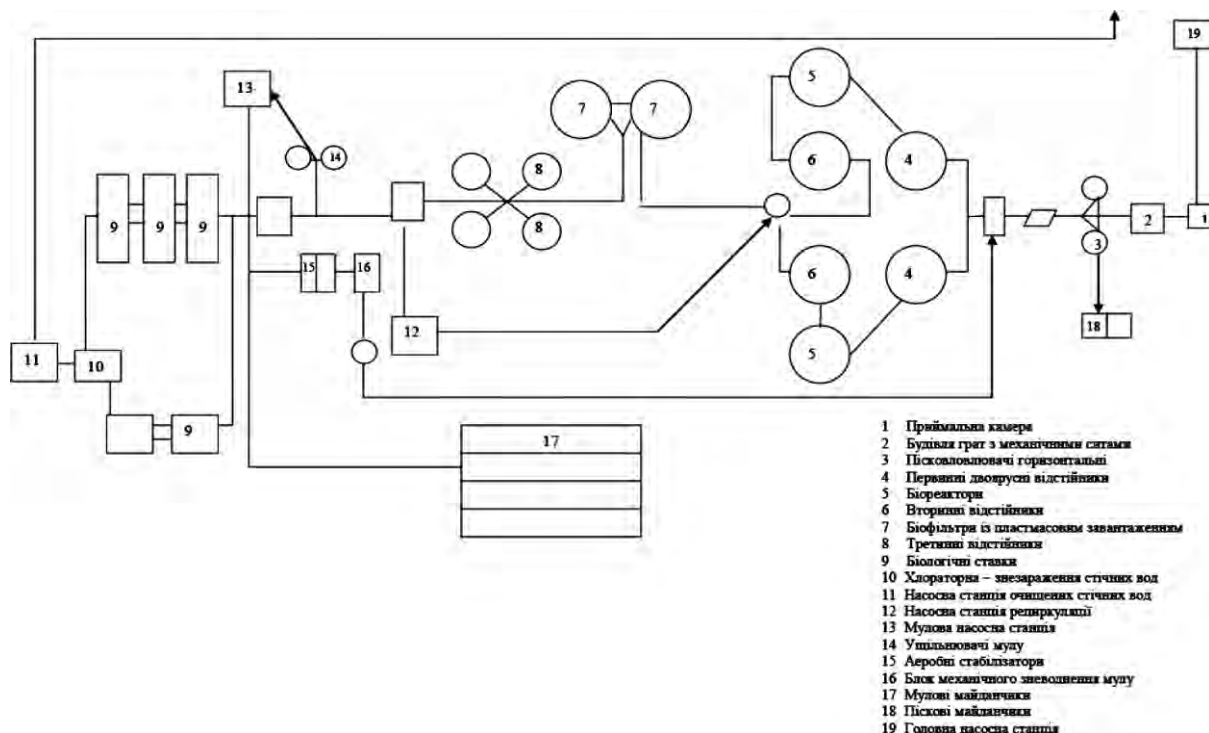


Рисунок 1. Схема технологічного процесу очистки зворотних вод

відстійники в яких відбувається осадження мулу та освітлення води. Освітлені води після вторинних відстійників подаються до біофільтра приймальної камери насосної станції рециркуляції, звідки за допомогою насосів перекачуються у збірну камеру для розведення стоків, що надходять з аерофільтрів [3].

Облік зворотних вод здійснюється тепловодолічильником марки Ергомера-125.

На рисунку 1. зображена схема технологічного процесу очищення зворотних вод КП «Міський водоканал» Золотоніської міської ради, Черкаської області.

Контроль за якісним та кількісним складом зворотних вод, що подається на очисні споруди КП «Міський Водоканал» здійснюється відповідно до «Правил приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України» [6].

Контроль якості міських (виробничих та господарсько-побутових об'єктів) зворотних вод здійснюється атестованою лабораторією КП «Міський водоканал». Визнання спроможності проведення таких вимірювань (№ РЯ-0013/24 від 18.03.24 р.), термін дії сертифіката до 18 березня 2029 року.

Характеристика стічних вод

Стічна вода, яка потрапляє на очисні споруди, являється складною сумішшю побутових та промислових стічних вод. Після очищення на спорудах стічна вода стає безбарвною рідиною без запаху, не токсичною, з температурою кипіння – 100 °С та замерзання – 0°С.

Показники забруднюючих речовин в стічних водах після очисних споруд не повинні перевищувати показників гранично допустимих скидів (ГДС).

Фізико-хімічні показники якості води, яка витікає з очисних споруд, відповідають вимогам «Технологічного регламенту» (табл. 1).

Контроль якості зворотних вод, які скидаються в річку Суха Згар представлено в таблиці 2.

Характеристика поверхневих вод

Річка Суха Згар зазвичай депресивна, більшу частину року зневоднена, і як наслідок, відсутність розчищення та задамбованості приватними господарствами вище по течії, до місця скиду КОС, та у повному обсязі не виконує функції доочищення води (табл. 3).

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники якості води, яка виходить з очисних споруд

№ п/п	Назва показника	Фактичні показники, мг/дм ³
1	Завислі речовини	26,0
2	Нафтопродукти	0,27
3	БСК-5	27,3
4	Азот амонійний	24,1
5	ХСК	149,9
6	Нітрати	0,9
7	Нітроти	0,1
8	АПАР	1,1
9	Сульфати	73,3
10	Фосфати	7,1
11	Мінералізація	1046,4
12	Хлориди	213,4
13	pH	7,9

Таблиця 2

Контроль якості зворотних вод, які скидаються в річку Суха Згар

№ п/п	Назва показника	Періодичність відбору	Методика визначення
1	Завислі речовини	1 раз на 10 днів	КНД 211.1.4.039-95
2	Нафтопродукти	- « -	МВВ №-081/12-0645-03
3	БСК-5	- « -	КНД 211.1.4.024-95
4	Азот амонійний	- « -	МВВ 081/12-0106-03
5	ХСК	- « -	КНД 211.1.4.021-95
6	Нітрати	- « -	КНД 211.1.4.027-95
7	Нітроти	- « -	КНД 211.1.4.023-95
8	АПАР	- « -	КНД 211.1.4.017-95
9	Сульфати	- « -	МВВ 081/12-0177/05
10	Фосфати	- « -	МВВ 081/12-0005-01
11	Мінералізація	- « -	МВВ 081/12-0109-03
12	Хлориди	- « -	МВВ 081/12-0004-01
13	pH	- « -	МВВ №0781/12-0317-06

Результати аналізів поверхневих вод

№	Найменування показника, одиниці виміру	Номер проби					ГДК
		1	2	3	4	5	
1	Каламутність, мг/дм ³	14,8	6,4	1,32	3,2	70	0,75
2	Забарвленість, градуси	22	18	15	20	-	10см
3	Запах, бали при 20°C	3	3	3	3	5	1
4	Хімічне споживання кисню, мгО ₂ /дм ₃	26	43	44	38	150	30
5	pH - водневий показник	7,43	7,87	8,4	7,9	7,7	6,5-8,5
6	Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	9	11	11	10,4	11,5	—
7	Залізо загальне, мг/дм ³	0,87	0,3	0,42	0,31	2,3	0,3
8	Загальний вміст солей(сухий залишок) мг/дм ³	406	1059	980	910	980	1000
9	Перманганатна окиснюваність, мгО ₂ /дм ₃	20	12	18	27	104	30
10	Загальна лужність, ммоль/дм ³	9,4	15	13,2	15,1	15	—
11	Фосфати, мг/дм ³	1,5	1	0,8	0,32	4,4	—
12	Нітрити, мг/дм ³	0,5	—	0,32	0,3	1,21	3,3
13	Нітрати, мг/дм ³	23	25	31	27	29	45
14	Амоній, мг/дм ³	0,1	0,2	0,2	0,18	0,23	1,0
15	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ₃	22	28	31	30	111	3
16	Натрій, мг/дм ³	71	104	100	106	1022	200
17	Сульфати, мг/дм ³	12	28	36	31	31	500
18	Фториди, мг/дм ³	—	—	—	—	—	—
19	Алюміній, мг/дм ³	—	—	—	—	—	—
20	Марганець, мг/дм ³	0,2	—	—	—	0,21	0,1
21	Цинк, мг/дм ³	—	—	—	—	—	—
22	Нікель, мг/дм ³	—	—	—	—	—	—
23	Мідь, мг/дм ³	—	—	—	—	—	1,0
24	Кальцій, мг/дм ³	144	180	188	192	196	200
25	Магній, мг/дм ³	6	20	17	19	20	50

Результати проведених аналізів виявили, що деякі показники перевищують ГДК, зокрема, рівень заліза, вміст солей, марганцю, БСК, а також рівень каламутності.

Тому, з метою удосконалення заходів щодо запобігання негативного впливу на довкілля в процесі очищення стічних вод авторами статті

рекомендовано розробити та затвердити Програму екологічних заходів, а саме:

1. Впровадити систему екологічного управління відповідно до вимог міжнародних стандартів серії ISO14000 та ДСТУ ISO 14001, а також сертифікатів системи менеджменту.
2. Підготувати пакет документів, в яких

обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами та отримати дозвіл на викиди. Відповідно до ст. 11. Закону України «Про охорону атмосферного повітря» викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами можуть здійснюватися після отримання дозволу на викиди.

3. Провести оцінку впливу господарської діяльності на довкілля. Відповідно до п. 11 частини 3 ст. 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля», мулові поля площею 0,5 гектара і більше та об'єкти оброблення відходів, що не є небезпечними, потужністю менше 100 тонн на добу підлягають оцінці впливу на довкілля.

4. Отримати дозвіл на здійснення операцій з оброблення відходів. Відповідно до підпункту 9 п. 2. ст. 17 Закону України «Про управління відходами», суб'єкти господарювання у сфері управління відходами зобов'язані: мати дозвіл на здійснення операцій з оброблення відходів або передавати накопичені відходи іншим суб'єктам господарювання які мають необхідні дозволи на такий вид діяльності [5–7].

5. Провести класифікацію відходів відповідно до Порядку класифікації відходів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102.

6. Здійснити заходи щодо запобігання надходження дощових вод до системи централізованого водовідведення. Води, що утворюються внаслідок випадання атмосферних опадів (дощу, танення снігу та льоду), повинні очищуватися на окремих очисних спорудах [7].

7. Розробити інвестиційну програму та впровадити геоінформаційну систему мереж централізованого водовідведення відповідно Постанови від 22.03.2017р., № 307 «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з централізованого водопостачання та централізованого водовідведення».

8. Розробити технологічний регламент з експлуатації споруд та каналізаційних мереж, призначених для відведення та очищення стічної води. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) від 22.03.2017 р. № 307 «Про затвердження Ліцензій-

них умов провадження господарської діяльності з централізованого водопостачання та централізованого водовідведення».

9. Посилити лабораторно-виробничий контроль щодо: кількості стічних вод, що надходять на очисні споруди, кількість осадів та мулу; а також рівня води і осаду в очисних спорудах.

10. Розглянути можливості та варіанти реконструкції очисних споруд, де зокрема, передбачити: збільшення обсягів очищення стічних вод відповідно до потреб м. Золотоноша; збільшення об'єму приймальної камери або створити умови які забезпечать запобігання залпових скидів окремими суб'єктами господарювання; збудувати усереднювач добової ємності або додаткові лінії; вкрай необхідне встановлення грабельного відділення та жироловки; перед ГКНС підвищення ефективності роботи аеротенків, шляхом забезпечення повітрям до 1400-1500м³, із врахуванням зміни обсягів споживання кисню в теплі періоди року та наявності розчиненого кисню; переобладнання системи аерації, та нагнітання повітря, для сприяння розвитку мікро організмів та утворення активного мулу в аеротенки; забезпечити облаштування системи підігріву біореакторів для роботи в холодні періоди року.

Висновки

Під час досліджень авторами статті встановлено, що потужність очисних споруд не відповідає проєктним і становить 2200 м³ на добу. Також на підприємстві відсутні висновки державної екологічної експертизи та висновки з оцінки впливу на довкілля, а також відсутні дозволи на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Відповідно до Порядку повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин, затвердженого наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 12.12.2018 р. № 34, очищені стічні води за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин можуть використовуватися як технічна вода для забезпечення виробничих процесів у промисловості та для зрошування земель сільськогосподарського

призначення, на яких вирощуються технічні, кормові та зернові культури, декоративні насадження, багаторічні та однорічні трави, які не відводяться під випас тварин.

Дощові води під час сильних опадів з дощової системи потрапляють у каналізаційну мережу в об'ємі 1500 м³/добу.

Суб'єкт водовідведення забезпечує проведення виробничого контролю за показниками якості очищених стічних вод.

Стічні води, які після очищення скидаються у водний об'єкт, не відповідають вимогам нормативного очищення. Контроль за якісним та кількісним складом зворотних вод, що надходять на очисні споруди КП «Міський Водоканал», здійснюється відповідно до «Правил приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України».

Контроль якості міських (з виробничих та господарсько-побутових об'єктів) зворотних вод проводиться атестованою лабораторією КП «Міський Водоканал», сертифікат (від 18.03.24 року № РЯ-0013/24) визнання спроможності проведення вимірювань, термін дії до 18 березня 2029 року.

В процесі експлуатації КОС спостерігаються випадки залпових скидів стічних вод окремими суб'єктами господарювання, в результаті таких скидів приймальна камера не забезпечує гасіння напору стоків, що також призводить до порушення технологічного режиму очищення стічних вод та скидів у річку Суха Згар.

У роботі очисних споруд, постійно працюють дві технологічні лінії, що ускладнює проведення будь-яких ремонтних робіт. Коли зупиняється одна технологічна лінія усе навантаження направляється на іншу, що призводить до некерованих процесів, при цьому, фактично із задовільною якістю очищення можна пропустити 1800-2200м³ стічних вод за добу.

Із збільшенням надходження стоків, збільшується швидкість проходження їх по каскаду, що також, негативно впливає на хімічні та мікро-біологічні процеси очищення стічних вод.

У цьому процесі працюють два біореактори.

Якість роботи задовільна, але відсутня система підігріву для роботи в холодні періоди року. Скид умовно очищеної води також здійснюється у р. Суха Згар. Результати проведених аналізів зворотної води на виході з КОС м. Золотоноша, засвідчили про неефективність робити очисних споруд. Річка Суха Згар здебільшого депресивна та зневоднена. При відсутності заходів з розчищення русла та задамбованості приватними господарствами до місця скиду КОСу, вона не зможе виконувати функції з доочищенням води.

Список використаних джерел

1. Корінько І., Кобилянський В., Панасенко Ю. О. Контроль якості води /Монографія / Харківська національна академія міського господарства. Харків : ХНАМГ, 2013. 288 с.
2. Набиванець Б. Й., Сухан В. В., Калабіна Л. В. Аналітична хімія природного середовища. Київ : Либідь, 2018. 301 с.
3. Яцик А. Водне господарство в Україні / ред.: А. Яцика, А. Хорева. Київ : Генеза, 2011. 146 с.
4. Полюжин І. Фізико-хімічні методи аналізу стану об'єктів навколишнього середовища. Львів : Львівська політехніка, 2016. 543 с.
5. Nabyvanets Y., Yatsiuk M., Osadcha N. Adaptation of Ukrainian water resource assessment to European legislation.. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2017. 5(1). С. 37–45. URL: <https://doi.org/DOI: 10.26491/mhwm/67267>.
6. Ломницька Я., Василечко В., Чихрій С. Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля. Навчальний посібник з хімічних методів аналізу об'єктів довкілля. Львів : Видавничий центр Львівського Національного Університету імені Івана Франка, 2011. 496 с.
7. Про затвердження Правил користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України (наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 27.06.2008 р. №190). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0936-08#Text>.

УДК 556.5+627.13+518.9+682.964

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-04>

НАУКОВІ ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОДНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА МЕТОДОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Івашенко Т. Г., Машков О. А., Присяжний В. І.,
Фінін Г. С., Оводенко Т. С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського 35, корпус 2, м. Київ, 03035

t1313@ukr.net

mashkov_oleg_52@ukr.net

За результатами аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань побудови та застосування системи забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з використанням системи штучного інтелекту визначено шляхи вирішення науково-прикладної проблеми розроблення теоретичних основ, інструментального базису та технології штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень при забезпеченні водної безпеки в умовах змін клімату та надзвичайних ситуацій природного характеру. Вирішення цієї проблеми потребує створення відповідних математичних моделей: модель інтелектуальної системи управління водними ресурсами; модель динаміки екологічних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами. Із застосуванням цих моделей доцільно відпрацьовувати метод забезпечення функціональної стійкості водних ресурсів з використанням інтелектуальних систем. Застосування такого методу забезпечення функціональної стійкості дозволяє виконувати просторово-розподілену інтелектуальну оцінку ризику за фізико-хімічними показниками, що є необхідною для діагностики поточної ситуації в екологічній системі. Модель динаміки екологічних процесів в інтелектуальній системі управління водни-

ми ресурсами дозволяє здійснювати підтримку прийняття управлінських екологічних рішень. Це впливає на можливість надавати оцінку та здійснювати прогнозування небезпеки водних ресурсів, прогнозувати компоненти екологічного ризику та формувати технологію забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх з використанням системи штучного інтелекту. Розроблення системи управління водною безпекою передбачає формування структури комплексу інформаційних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами. Структура комплексу визначає архітектуру програмного продукту, склад і формат вхідних та вихідних даних.

Ключові слова: водна безпека, нечітка логіка, прийняття рішень, система підтримки прийняття рішень, система штучного інтелекту, функціональна стійкість.

Scientific challenges in developing a water security system using artificial intelligence for ecosystem stability. Ivashchenko T., Mashkov O., Prysyzhnyi V., Finin H., Ovaidenko T.

This study explores the development of a water security system based on artificial intelligence (AI) to

ensure ecosystem stability amid climate change and natural disasters. The key challenge lies in creating theoretical foundations, an instrumental framework, and AI-driven decision-making technology for effective water resource management.

To address this, the authors propose two essential models: An intelligent water resource management system and A model of ecological process dynamics.

These models enable spatially distributed risk assessment based on physicochemical indicators, essential for diagnosing ecological conditions and supporting environmental decision-making. They also facilitate hazard forecasting, ecological risk prediction, and the optimization of water resource use and sanitation through AI.

Developing this system requires structuring an integrated information processing framework, defining software architecture, and standardizing input/output data formats.

Keywords: water security, decision-making, AI systems, functional stability.

Постановка проблеми

З погляду сучасних системних уявлень завдання контролю та управління станом навколишнього середовища відноситься до завдань управління складними системами, що не піддаються точному аналітичному опису. Це робить малопридатним і малоефективним традиційний математичний апарат, який успішно застосовується в різних науково-технічних додатках. З іншого боку, накопичено величезний досвід у вирішенні погано формалізованих завдань з використанням методології штучного інтелекту, що реалізується експертними системами та системами підтримки прийняття управлінських рішень (СППР) [1, 2].

Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами європейських держав. Основною їх складовою є річковий стік. В середній за водністю рік його загальний обсяг складає 87,1 км³, що, порівняно з Бразилією (9900 км³), є досить скромним. Причому абсолютна більшість річкового стоку припадає на Південно-Західний економічний регіон (70%), а на Донецько-Придніпровській та Південний, де мешкає 60% населення, ли-

ше 30%. Але саме тут знаходиться найбільша кількість водомістких виробництв. Значні водні ресурси зосереджені в озерах України, що розташовані по всій її території. За приблизною оцінкою, об'єм води в прісних озерах сягає 2,3 км³, в солоних озерах та лиманах – 8,6 км³. У болотах зосереджено близько 30 км³ води, що належить до категорії зв'язаних вікових запасів. В Україні щорічно для потреби водопостачання населення і галузей економіки використовується близько 9 км³ води, зокрема, 6 км³ – з поверхневих джерел, 2 км³ – з підземних джерел, до 1 км³ – морської води.

Такий об'єм водозабору сформувався в останні 2-3 роки та складає 32% від рівня максимального водозабору (для порівняння, 35 км³ в 1990 р.). Доступні для використання запаси поверхневих вод дуже нерівномірно розподілені по території країни. Більше половини водних ресурсів зосереджено в басейні р. Дунаю, де потреба у воді не перевищує п'ять відсотків. Водозабезпеченість місцевими водними ресурсами по окремих областях країни, відрізняється майже в 60 разів: від 0,14 км³/рік у Херсонській області до 7,92 км³/рік – у Закарпатській [2, 3].

Останніми роками відбувається зменшення атмосферних опадів та стійке підвищення температурного режиму на водозборах малих і середніх річок в межах території України. Це спричинено змінами клімату, що не дає змоги акумулювати необхідну кількість водних ресурсів у водосховищах не лише для забезпечення екологічних, але й санітарних пусків, а й суттєво впливає на формування річкового стоку. В середньому, стік малих та середніх річок зменшився на 10–20%. Дослідженнями зафіксовано зменшення стоку малих і середніх річок: на півночі – на 10–20%, а на півдні – від 20 до 50%.

Прогнозні ресурси прісних підземних вод складають загалом 20,9 км³ на рік, експлуатаційні ресурси – 5,7 км³. Балансові запаси підземних вод, що гідравлічно не зв'язані з поверхневим стоком і є додатковими водними ресурсами місцевого формування, становлять близько 7 км³. Найбільші величини підземних вод залягають у басейнах рр. Дніпро (61%), Сіверського Донця (12%) та Дністра (9%). Крім прісних водних ресурсів у галузях економіки використовується близько 1 км³ морської води [2, 3].

Серед найбільш важливих екологічних проблем природних вод на території України визначені наступні:

- надмірне антропогенне навантаження на водні об'єкти внаслідок інтенсивного способу ведення водного господарства, що призвело до кризового зменшення самовідтворюючих можливостей річок та виснаження водоресурсного потенціалу;
- значне забруднення водних об'єктів внаслідок невпорядкованого відведення стічних вод від населених пунктів, господарських об'єктів і сільськогосподарських угідь;
- широкомасштабне радіаційне забруднення басейнів багатьох річок внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС;
- погіршення якості питної води внаслідок незадовільного екологічного стану джерел питного водопостачання;
- недосконалість економічного механізму фінансування і реалізації водоохоронних заходів;
- відсутність автоматизованої, постійно діючої мережі моніторингу в системі водокористування тощо.

Вищезгадані проблеми актуальні для всіх екосистем України.

Стан водних ресурсів і водозабезпечення населення та галузей економіки України залишається однією з головних та актуальних загроз національній безпеці країни. Ця гострота обумовлена тим, що Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами країн Європи. За визначенням Європейської економічної комісії ООН, держава, водні ресурси якої не перевищують 1,7 тис. м³ на одну людину, вважається незабезпеченою водою. В Україні, питома величина місцевого стоку в маловодний рік у розрахунку на одного мешканця дорівнює 0,52 тис. м³, а з урахуванням транзитного стоку – 1,2 тис. м³ (у Франції – 3,5 тис. м³, Великій Британії – 5 тис. м³, Польщі – 1,4 тис. м³). Тому, досягнення належного (прийняттого) рівня водної безпеки України є головною метою національної водної політики. Головним інструментом досягнення водної безпеки має стати інтегроване управління водними ресурсами за басейновим принципом, шляхом впровадження заходів обґрунтованих у планах управління річковими басейнами [4, 5].



Забезпечення функціональної стійкості водної безпеки передбачає гарантований доступ до необхідної кількості та належної якості води: для людини, економіки та природи. Відтак «водна безпека» – це спроможність людей підтримувати стійкий доступ до достатньої кількості прийнятної якості води для:

- забезпечення засобів до існування людини та соціально-економічного розвитку;
- гарантування захисту від забруднення і пов'язаних з водою стихійних лих;
- збереження екосистем в умовах миру та політичної стабільності.

Водна безпека людини та суспільства полягає у забезпеченні рівного права на питну воду та санітарію для кожної людини на рівні громади.

Теорія побудови та застосування системи забезпечення водної безпеки натеper розробляється інтенсивно з використанням деяких нових уявлень про природу водного середовища.

Наразі визначається, що процеси у водній екосистемі є імовірнісним процесом і тому адекватний математичний апарат для його опису та аналізу – теорія випадкових процесів та теорія стохастичних диференціальних рівнянь.

Однак, дотепер відсутня детальна методика, яка дозволяє будувати інженерні розробки на ос-

нові тези про випадкової оцінки природі водного середовища. Відсутність методики пов'язано з тим, що є розбіжності між потребами практики та ступеня розроблення імовірнісної теорії регулювання водного середовища. Причина такого розриву, по-перше, труднощі побудови такої теорії, а по-друге, те, що можливість її практичного застосування, з'явилася тільки з появою та використанням апаратних та програмних засобів.

Побудова імовірнісної теорії забезпечення водної безпеки та відповідних розрахункових прийомів можливо двома шляхами. Перший – аналітичний шлях полягає у тому, що за узагальненими імовірнісними характеристиками процесів у водній екосистемі, а саме за функціями переходу, які керують цим процесом, та визначеними правилами регулювання, будуються узагальнені імовірнісні характеристики водних екосистем. Будь-які окремі реалізації випадкових процесів при цьому, не розглядаються. Другий – статистичний шлях, який полягає в отриманні узагальнених імовірнісних характеристик (вихідних змінних) за результатом процесу їх змін (вхідних змінних).

Дотепер імовірнісні розробки в галузі забезпечення водної безпеки розвивалися, здебільшого, першим шляхом. Застосування методу Монте-Карло, методів штучного інтелекту в цій галузі розглядалося у нечисленній кількості робіт, переважно закордонних, присвячених окремим питанням водної безпеки. У протилежність цим роботам, автори надають системне дослідження розроблення методології побудови та застосування системи забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з використанням системи штучного інтелекту [6, 7].

Актуальність дослідження визначається наступними обґрунтуваннями. Недоліки існуючих методів забезпечення водної безпеки пов'язані як з великою обчислювальною складністю так й великими площами (масштабом країни), які потребують відповідні статистичні оцінки. При цьому, слід враховувати характеристики саме предметної сфери: необхідність прийняття рішень в умовах ліміту часу, швидкоплинність процесів у екосистемах потребує оперативної реакції особи, яка приймає рішення. Ці обставини формують вимоги до систем підтримки прийняття управ-

лінських екологічних рішень у реальному часі: прийнятна обчислювальна складність, деталізація в масштабі регіону, динамічна оцінка екологічних ризиків з урахуванням впливу надзвичайних ситуацій та дій особи, яка приймає рішення.

Отож, виникають наступні основні наукові протиріччя: потреба знизити обчислювальну складність без зменшення точності та достовірності (ефективності) і відсутності методів, які забезпечують достатню деталізацію та описують ризик в динаміці як процес.

Саме ці протиріччя обумовлюють необхідність розроблення наукових та методологічних основ побудови й застосування системи забезпечення водної безпеки.

Зв'язок авторського доробку із науковими та практичними завданнями

За результатами розгляду матеріалів аудиту і комплексу питань, пов'язаних із викликами та загрозами національній безпеці України у сфері забезпечення водної безпеки держави, Рада національної безпеки і оборони України прийняла рішення від 30.07.2021 «Про стан водних ресурсів України», яке введено в дію Указом Президента України від 13.08.2021 № 357/2021. На виконання цього Указу Постановою Кабінету Міністрів України від 03 листопада 2021 року була № 1211 утворена Міжвідомча координаційна рада з питань водних ресурсів України. Досягнення доброго стану водної безпеки України до 2030 року стане можливим у разі виконання наступних завдань: забезпечити загальний і рівноправний доступ до безпечної та економічно доступної питної води для всіх; забезпечити загальний і рівноправний доступ до належних санітарно-гігієнічних засобів, приділяючи особливу увагу вразливим верствам населення; підвищити якість природних вод шляхом зменшення забруднення, ліквідації скидання відходів і мінімізації викидів небезпечних хімічних речовин і матеріалів, скорочення вдвічі частки неочищених стічних вод і значного збільшення масштабів рециркуляції та безпечного повторного використання стічних вод; істотно підвищити ефективність водокористування в усіх секторах і забезпечити збалансованість забору та подачі

прісної води для вирішення проблеми її нестачі та значного скорочення кількості осіб, які страждають від нестачі води; забезпечити інтегроване управління водними ресурсами на всіх рівнях, залучати за необхідності, транскордонне співробітництво; забезпечити охорону і відновлення екосистем, пов'язаних з водою, зокрема гір, лісів, водно-болотних угідь, річок, водоносних горизонтів, озер; забезпечити істотне зменшення ризиків паводків та інших проявів шкідливої дії вод; розширити міжнародне співробітництво та підтримку зміцнення потенціалу України щодо здійснення діяльності та виконання програм у галузі водопостачання і санітарії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах [1-5] показано, що при вирішенні завдань оцінки стану та управління складними соціотехнічними системами, до яких належить досліджуваний клас систем, хороших результатів вдається досягти при об'єднанні методологій класичної теорії розпізнавання образів, теорії нечіткої логіки прийняття рішень Л. Заде, теорії впевненості Є. Шортліфа та пошукового аналізу із синтезу гібридних моделей прийняття рішень у гетерогенному просторі ознак. Такий тип моделей є основою побудови бази знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень фахівців екологів. Ця система є ядром інтелектуальної системи, до складу якої входять: підсистема збирання та попереднього оброблення даних, що складається з рухомих та стаціонарних станцій, система передачі даних та інтелектуальна СППР [6, 7]. Інтелектуальна СППР вирішує завдання вибору раціональних схем розміщення стаціонарних станцій спостереження та раціональних маршрутів пересування мобільних лабораторій стану довкілля, оцінки ризику розвитку несприятливих екологічних ситуацій, оцінки ризику виникнення, розвитку та рецидивів загострення захворювань людини та тварин, що викликаються шкідливим впливом екологічних факторів, формування раціональних схем управління екологічною безпекою.

Науково-прикладна проблема полягає в необхідності підвищення ефективності існуючих технологій забезпечення водної безпеки та забез-

печенні своєчасного та обґрунтованого прийняття ефективних управлінських рішень в умовах змін клімату.

Метою дослідження є створення методологічних основ побудови та використання інтелектуальної системи забезпечення водної безпеки, що заснована на використанні штучного інтелекту.

Результати досліджень

Сучасне розуміння водної безпеки не може бути сформоване без участі та спільного усвідомлення всіма основними водокористувачами та водоспоживачами, іншими заінтересованими сторонами, що в Україні вода є обмеженим ресурсом через нерівномірний природний розподіл водних (поверхневих та підземних) ресурсів по території країни та у часі, так і через обмеженість доступу до води через неналежне управління цим ресурсом.

Існуюча система управління водними ресурсами є неефективною через невирішеність та неврегульованість цілого ряду питань, а саме через відсутність:

- цілісної державної водної політики та єдиного уповноваженого органу відповідального за її формування та реалізацію;
- розмежування функцій управління водними ресурсами та надання послуг екосистемного водокористування);
- повноважень існуючих басейнових рад щодо здійснення ними інтегрованого управління водними ресурсами;
- повноцінного залучення водокористувачів до управління водними.

Структура системи та її математичне забезпечення

Сучасні біотехнічні технології, орієнтовані на екологічні програми дозволяють контролювати стан навколишнього середовища за допомогою інтелектуальних датчиків, що реєструють різні показники, що характеризують ступінь забруднення води, повітря та ґрунту. Ці датчики розміщуються на стаціонарних постах та працюють у мобільних лабораторіях. «Інтелектуальні» ме-



Рисунок 2. Структурна схема інтелектуальної системи підтримки ухвалення екологічних рішень для забезпечення водної безпеки

ханізми датчиків забезпечують їхню адаптацію до різних умов вимірювань, дозволяють дати користувачу попередню інформацію про стан навколишнього середовища в найбільш зрозумілій фахівцям екологічній формі, проводять автоматичне калібрування вимірювальної частини, парують різні типи навантажень і пошкоджень, готують інформацію для передачі в системи вищого рівня.

Структурна схема пропонованої системи інтелектуальної системи підтримки ухвалення екологічних рішень для забезпечення водної безпеки має вигляд, наведений на рисунку 2.

Інтелектуальним ядром системи є база знань, побудована на основі гібридних нечітких моделей, основу якої складають функції впевненості (приналежності) до досліджуваних класів станів навколишнього середовища, які агрегуються в проміжні та фінальні правила прийняття рішень з урахуванням структури даних, що характеризують екологічну обстановку.

Пропонується завдання синтезу гібридних вирішальних правил розглядати як завдання нечіткого поділу багатовимірних образів, що характеризують різні класи екологічного стану середовища та стан здоров'я людей, що контактують з цим середовищем.

У такій інтерпретації функції впевненості (приналежності) $\mu(x_i)$ з базовими змінними по координатах простору ознак x_i , що описують стан досліджуваних образів за допомогою операції логічного множення, описують в багатовимірному просторі ознак нечіткий гіперпаралелепіпед, в який «вписаний» клас.

У такий спосіб впевненість U у класифікації ω визначається виразом:

$$U = \min [\mu_1(x), \mu_2(x) \dots \mu_n(x)], \quad (1)$$

де n -розмірність простору ознак.

Для складних структур класів точність опису кожного з класів за допомогою цього виразу

(апроксимація одним нечітким гіперпаралелепіпедом) може виявитися недостатньою з точки зору класифікації. Більш точної апроксимації структур досліджуваних класів станів можна досягти, представляючи кожен із класів безліччю нечітких гіперпаралелепіпедів $U[k]$, де $k=1, \dots, K$. У такому варіанті впевненість у віднесенні об'єкта до класу визначається виразом:

$$U = \max [U(1), U(2), \dots, U(K)], \quad (2)$$

де кожна складова $U[k]$ визначається виразом (1).

Математична формалізація поняття функціональної стійкості водної екологічної системи

Для забезпечення безпеки водної екологічної системи пропонується розглядати позаштатні стани системи, викликані техногенними аваріями та природними катаклізмами, як допустимі, і для них формувати адекватне (функціонально стійке) управління, спрямоване на парирування наслідків несприятливих ситуацій та підтримку виконання функцій екологічної системи. За рахунок цього, управління забезпечується перерозподіл ресурсів екологічної системи задля досягнення головної мети, навіть за умов нештатних ситуацій.

Вперше поняття «функціональна стійкість», його визначення та принципи основи забезпечення функціональної стійкості були наведені у публікаціях, присвячених вирішенню конкретних завдань управління складними автономними об'єктами [6, 7]. Було встановлено, що важливою умовою забезпечення цієї якості є можливість перерозподілу наявних ресурсів усередині системи.

Дослідження, результати яких наведені в літературі [6, 7], показали, що технологічною основою забезпечення функціональної стійкості стало створення інформаційно-керуючих комплексів, які дозволили комплексувати ресурси системи (інформаційні, обчислювальні, енергетичні) та здійснювати їх перерозподіл. Тільки комплексування всіх ресурсів систем управління в єдиний інформаційно-керуючий комплекс, де інформаційно-вимірювальна підсистема включатиме всі

джерела інформації, пристрої перекодування та сполучення, обчислювальна система – усі обчислювачі, а енергетична підсистема – усі виконавчі механізми та джерела енергії дозволить забезпечити її функціональну стійкість.

Під функціональною стійкістю водної екологічної системи розумітимемо її властивість зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій у межах, встановлених нормативними вимогами, в умовах антропогенного фактору, техногенних аварій, а також розвитку природних процесів.

Розглянемо математичну формалізацію поняття «функціонально стійке управління» для водної екологічної системи в режимі стабілізації екологічних процесів, де водна екологічна система описується рівнянням у формі Ланжевена:

$$\dot{X}(t) = A(t) \cdot X(t) + \delta(t) + \xi(t) + \gamma(t); \quad (3)$$

інформаційно-вимірювальна підсистема (підсистема спостереження) – рівнянням спостережень:

$$Y(t) = H(t) \cdot X(t) + \eta(t) + \gamma(t), \quad (4)$$

де $\tilde{O}(t)$ - n -мірний вектор стану системи; $U(t)$ - m -мірний вектор управління; $Y(t)$ - l -мірний вектор спостережень; $A(t)$ – динамічна матриця системи розмірністю $n \times n$; $H(t)$ – матриця спостережень системи розмірністю $l \times n$; $\gamma(t)$ - n -мірний випадковий вектор, значення якого кількісно характеризує дію нештатної ситуації на систему, $\gamma_0(t)$ – значення вектору, що відповідає нормальному режиму функціонування, $\gamma_i(t)$ – відповідне i -ої позаштатної ситуації; $\xi(t)$ – випадковий вектор гауссівських обурень стану системи з нульовим вектором середніх та кореляційних матриць:

$$\xi(t) \in \Omega_{\xi} : M[\xi(t)] = 0; \quad M[\xi(t) \cdot \xi^T(t')] = Q(t) \delta(t - t'), \quad (5)$$

$\eta(t)$ – випадковий l – мірний вектор гауссівських перешкод вимірювань із нульовим вектором середніх та кореляційною матрицею:

$$\eta(t) \in \Omega_{\eta} : M[\eta(t)] = 0; \quad M[\eta(t) \cdot \eta^T(t')] = R(t) \delta(t - t'); \quad (6)$$

обчислювальна та енергетична підсистеми відповідно до рівнянь:

$$U(t) = u(Y, t); \quad (7)$$

$$\delta(t) = B(t)U(t) + \gamma(t); \quad (8)$$

$B(t)$ – перехідна матриця управління розмірністю $n \times m$.

Розглядається випадок класичного квадратичного критерію якості, без термінальної складової:

$$I(X(t), U(t) / \gamma(t)) = M \left(\int_{t_0}^{t_k} X^T(t) \cdot \beta \cdot X(t) dt + \int_{t_0}^{t_k} U^T(t) \cdot C^{-1} \cdot U(t) dt \right). \quad (9)$$

У цих умовах управління $U^*(t)$, що забезпечує мінімум математичного очікування квадратичного критерію якості (7) для обраної моделі відмов $\gamma(t) \in \Omega_\gamma$ з урахуванням обмежень на область допустимих станів $X(t) \in \Omega_X$ та керувань $U(t) \in \Omega_U$, буде функціонально стійким при виконанні умов:

$$|I(X(t_0), U(t_0) / H_0(t_0)) - I(X(t_0), U(t_0) / H_i(t_0))| < \varepsilon \quad (10)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |I(X(t), U(t) / H_0(t)) - I(X(t), U(t) / H_i(t))| < \delta(\varepsilon) \quad (11)$$

Нерівності (10) та (11) формалізують умову функціональної стійкості управління комплексу (3–8). Якщо у початковий момент часу t_0 відмова призводить до погіршення якості стабілізації не більше деякого позитивного значення ε , то функціонально-стійке управління має забезпечити зміну якості стабілізації не більше певного значення δ , що залежить від ε .

Отже, забезпечення функціональної стійкості систем виходять за рамки традиційних для класичної теорії автоматичного регулювання задач оптимізації «у малому» (на заданій програмній траєкторії управління визначається з умови оптимізації перехідних процесів за тими чи іншими критеріями), оскільки передбачає неповну апріорну інформацію про об'єкт, оперативне формування програмної траєкторії для поточної обстановки та оптимальне використання всіх наявних ресурсів. Тому завдання забезпечення функціональної стійкості можна розглядати як вид завдань адаптивного оптимального управління «у великому», що передбачають оптимальне використання на кожному етапі або режимі функціонування системи всіх наявних ресурсів (енергетичних, інформаційних, обчислювальних), для досягнення головної для цього етапу мети при дотриманні безлічі обмежень.

Особливість методу синтезу функціонально-стійких водних екологічних систем полягає в тому, що при цьому не розглядаються процеси, що призвели до позаштатних екологічних ситуацій. Для формування спеціального управління, що відновлює процес нормального функціонування екосистеми, важливий сам факт порушення її функціонування.

Складність перевірки навіть достатніх умов керованості та спостерігальності модернізованої системи за відомими ранговими критеріями змусила шукати інші критерії функціональної стійкості. Особливе значення даного алгоритму полягає в тому, що він дозволив розділити загальне завдання синтезу функціонально стійких систем на приватні завдання: синтезу алгоритму виявлення виникнення нештатної ситуації та синтезу алгоритму парування її наслідків.

Пропонується розглядати екологічну систему як розподілену інформаційно-керуючу систему, яка є містить розосереджені на деякій території екологічного управління засоби автоматизованої обробки екологічної інформації для вирішення завдань накопичення, обробки, збереження та пересилання інформації. Така система складається з вузлів комутації та каналів (ліній) зв'язку між окремими елементами системи управління екологічною безпекою. Головною функцією системи є забезпечення елементів системи потенційною можливістю доступу до загальних інформаційних ресурсів. У сучасних умовах на розподілені інформаційно-керуючі системи негативно впливають як внутрішні (відмови, пошкодження, помилки персоналу), так і зовнішні (активний чи пасивний вплив довкілля) чинники.

Формалізація наукових проблем побудови та застосування системи забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з використанням системи штучного інтелекту

Наукові проблеми побудови та застосування системи забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з використанням системи штучного інтелекту можливо формалізувати наступним чином.

Перша проблема пов'язана з необхідністю аналізу проблеми забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем в умовах змін клімату. Вирішення цієї проблеми передбачає системологічний огляд інструментів та методів оцінки стану водної безпеки, а також визначення особливості управління водними ресурсами за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з використанням штучного інтелекту. Також потрібно здійснити системний аналіз впливу змін клімату на стан водозабезпеченості територій України та шляхи підвищення ефективності управління водними ресурсами. В результаті будуть обґрунтовані особливості формування та впровадження інтегрованого управління водними ресурсами в Україні, що надає шляхи вирішення проблеми забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з застосуванням інтелектуальних систем захисту водних ресурсів як складової інтелектуальної системи захисту навколишнього середовища.

Друга проблема передбачає необхідність розроблення концептуально-методичних основ забезпечення функціональної стійкості водних ресурсів з використанням інтелектуальних систем. Вирішення цієї проблеми передбачає визначення структури проблемної сфери та формалізацію концепції забезпечення функціональної стійкості водних ресурсів. Результатом вирішення цієї проблеми буде обґрунтована методика оцінки стану вод в басейнах річок України за фізико-хімічними показниками відповідно до стандартів ЄС з використанням інтелектуальних систем. На основі цієї методики доцільна побудова системи підтримки прийняття управлінських рішень при забезпеченні водної безпеки з використанням інтелектуальних систем.

Третя проблема пов'язана з розробленням моделі інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату. Вирішення цієї проблеми передбачає визначення джерел процесів в екосистемах для застосування в інтелектуальній системі управління водними ресурсами в умовах змін клімату та створення як моделей просторової складової процесів в системі управління водними ресурсами, так й моделей екологічних ризиків та загроз і ризиків в системі управління водними ресурсами. В цих моделях

бажано передбачити багаторівневі правдоподібні деревовидні мережі екопроцесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами.

Четверта проблема передбачає необхідність розроблення моделі динаміки екопроцесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища. Ця модель передбачає відпрацювання методики забезпечення національної водної безпеки з застосуванням систем штучного інтелекту, а також технології управління посухами в Україні з застосуванням систем штучного інтелекту в умовах змін клімату. Побудова інтелектуальної системи підтримки прийняття управлінських рішень дозволить забезпечити водну безпеку в умовах змін клімату.

П'ята проблема пов'язана з процедурами діагностики та прогнозування ситуацій в інтелектуальній системі підтримки прийняття управлінських рішень при забезпеченні водної безпеки. Вирішення цієї проблеми передбачає здійснення якісної оцінки та прогнозування небезпеки водних ресурсів, оцінки та прогнозування компонентів екологічного ризику і загроз. При цьому, діагностика та прогнозування ситуації у водних ресурсах на основі аналізу екологічного ризику здійснюється за допомогою технології забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх з використанням системи штучного інтелекту

Шоста проблема визначає необхідність оцінки ефективності застосування інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища. Вирішення цієї проблеми передбачає формування структури комплексу інформаційних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища та обґрунтування функціонального і експлуатаційного призначення інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища. В результаті буде сформовано архітектуру програмного продукту, а також склад і формат вхідних і вихідних даних. Обґрунтовані рекомендації щодо районування території України з використанням системи штучного інтелекту, а також концептуальні основи формування економічної вартості водних ресурсів дозволять удосконалити критерії та індикатори стану національної та секторальних водних безпек, орга-

нізації та ведення моніторингу для ефективного управління водними ресурсами.

На думку авторів вирішення зазначених проблем доцільно здійснювати шляхом застосування інструментального базису та технології штучного інтелекту та розробити дві моделі штучного інтелекту.

Перша модель – модель інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату. Така модель застосовує джерело процесів в екосистемах для застосування в інтелектуальній системі управління водними ресурсами в умовах змін клімату, яка, на відміну від існуючих моделей, дозволяє відображати різнобічну екологічну інформацію в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень в умовах неповної та неточної інформації.

Друга модель – модель динаміки екопроцесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища, яка на відміну від існуючих моделей, дозволяє забезпечити національну водну безпеку в умовах змін клімату з застосуванням систем штучного інтелекту а також дозволяє знизити обчислювальну складність та описувати події, що характеризуються неповними та недостовірними параметрами.

З застосуванням цих моделей доцільно відпрацьовувати метод забезпечення функціональної стійкості водних ресурсів з використанням інтелектуальних систем, що передбачає застосування множини зон з розмитими межами, які розташовані навколо контуру екологічного процесу і представляють собою водні ресурси з різним ступенем екологічної загрози. Застосування методу забезпечення функціональної стійкості дозволяє виконувати просторово-розподілену інтелектуальну оцінку ризику за фізико-хімічними показниками відповідно до стандартів ЄС, що є необхідною для діагностики поточної ситуації в умовах змін клімату.

Модель динаміки екопроцесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами доцільно застосовувати для відпрацьовування методу діагностики та прогнозування ситуацій в інтелектуальній системі підтримки прийняття управлінських рішень при забезпеченні водної безпеки. Це надає можливість надавати якісну оцінку та здійснювати прогнозування небезпе-

ки водних ресурсів, прогнозувати компоненти екологічного ризику та формувати технологію забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх з використанням системи штучного інтелекту та стимулює прийняття більш обґрунтованих рішень в умовах змін клімату.

Розроблення системи управління водною безпекою передбачає формування структури комплексу інформаційних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами, яка дозволяє визначити функціональне і експлуатаційне призначення інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища. Структура комплексу визначає архітектуру програмного продукту, склад і формат вхідних і вихідних даних.

Застосування системи управління водною безпекою дозволяє отримувати організаційні управлінські рішення; удосконалювати критерії та індикатори стану національної та секторальних водних безпек, організації та ведення моніторингу для ефективного управління водними ресурсами; розробляти рекомендації щодо районування території України з використанням системи штучного інтелекту.

Висновки

За результатами проведених наукових досліджень та розв'язання поставлених завдань авторами зроблені наступні висновки:

1. За результатами аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань побудови та застосування системи забезпечення водної безпеки за методом забезпечення функціональної стійкості екосистем з використанням системи штучного інтелекту визначено шляхи вирішення науково-прикладної проблеми розроблення теоретичних основ, інструментального базису та технології штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень при забезпеченні водної безпеки в умовах змін клімату та надзвичайних ситуацій природного характеру.

2. Вирішення цієї проблеми потребує створення відповідних математичних моделей:

- модель інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату, що застосовує джерело процесів в екосисте-

мах для застосування в інтелектуальній системі управління водними ресурсами в умовах змін клімату, яка, на відміну від існуючих моделей, дозволяє відображати різномірну екологічну інформацію в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень в умовах неповної та неточної інформації;

- модель динаміки екологічних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами, яка на відміну від існуючих моделей, дозволяє забезпечити національну водну безпеку в умовах змін клімату з застосуванням систем штучного інтелекту а також дозволяє знизити обчислювальну складність та описувати процеси, що характеризуються неповними та недостовірними параметрами.

3. Із застосуванням цих моделей доцільно відпрацьовувати метод забезпечення функціональної стійкості водних ресурсів з використанням інтелектуальних систем, що передбачає застосування множини зон з розмитими межами, які розташовані навколо контуру екологічного процесу і представляють собою водні ресурси з різним ступенем екологічної загрози. Застосування методу забезпечення функціональної стійкості дозволяє виконувати просторово-розподілену інтелектуальну оцінку ризику за фізико-хімічними показниками відповідно до стандартів ЄС, що є необхідною для діагностики поточної ситуації в умовах змін клімату.

4. Модель динаміки екологічних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами дозволяє відпрацьовувати метод діагностики та прогнозування ситуацій в інтелектуальній системі підтримки прийняття управлінських рішень при забезпеченні водної безпеки. Це відповідно, надає можливість надавати якісну оцінку та здійснювати прогнозування небезпеки водних ресурсів, прогнозувати компоненти екологічного ризику та формувати технологію забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх з використанням системи штучного інтелекту, а також стимулює прийняття більш обґрунтованих рішень в умовах змін клімату.

5. Розроблення системи управління водною безпекою передбачає формування структури комплексу інформаційних процесів в інтелектуальній системі управління водними ресурсами, яка дозволяє визначити функціональне і експлу-

атаційне призначення інтелектуальної системи управління водними ресурсами в умовах змін клімату середовища. Структура комплексу визначає архітектуру програмного продукту, склад і формат вхідних і вихідних даних.

6. Застосування системи управління водною безпекою дозволяє: отримувати організаційні управлінські рішення, а також оцінювати недоотримані користі різним галузями економіки в умовах водонезабезпеченості регіонів та створювати економічні основи формування водної безпеки в Україні; удосконалювати критерії та індикатори стану національної та секторальних водних безпек, організації та ведення моніторингу для ефективного управління водними ресурсами; розробляти рекомендації щодо районування території України з використанням системи штучного інтелекту.

Список використаних джерел

1. Барабаш О., Козелков С., Машков О. Понятійний апарат функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем. Збірник наукових праць НЦ ВПС ЗС України. 2005. Вип. №7. С. 87–95.
2. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки / О. Бондар та ін. Екологічні науки: науково-практичний журнал. 2023. Вип. 4 (49). С. 144–152.
3. Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки / О. Бондар та ін. Екологічні науки: науково-практичний журнал. 2023. Вип. 3 (48). С. 7-16.
4. Nils J. Nilsson. The Quest for Artificial Intelligence. Cambridge University Press. 2019. 578 s. (ISBN 978-0521116398).
5. Stuart J. Russell, Peter Norvig . Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2015. 300 s. (ISBN 978-9332543515).
6. Машков О., Машков В. Забезпечення відмовостійкості складних систем на основі їх самодіагностування за принципом блукаючого ядра. Кібернетика та обчислювальна техніка. 1998. Вип. 116. С. 103–111.
7. Машков О., Машков В. Принципи функціональної стійкості складних систем. Наука і оборона. 1995. вип. 2. С. 37–44.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЙМОВІРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЧИННИКА ВИДОБУВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПОКЛАДІВ НА ЗМІНИ ЕКОЛОГО- ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

Улицький О. А., Д'яченко Н. О., Касьяненко Д. Л.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035

olegulytsky@gmail.com

natalidyachenko1969@gmail.com

law@kasyanenko.com.ua

Стаття присвячена актуальним питанням сучасного видобутку залізних руд в Україні. Відбудова України та повоєнне відновлення потребуватиме від держави важливих економічних кроків, що будуть пов'язані із зростанням видобутку корисних копалин, особливо руд чорних металів. Авторами статті наведено результати досліджень та розрахунків максимальних параметрів Гуляйпільського родовища залізистих кварцитів, Запорізької області залежно від гірничо-геологічних, структурно-тектонічних та гідрогеологічних умов ділянки.

До негативних наслідків видобутку корисних копалин, призводять процеси зрушення бортів глибоких кар'єрів. Аналіз їх стану підтвердив, що зсувні явища набувають масового характеру починаючи з фактичної глибини кар'єру 300-500 м. Водночас, гірничорудна галузь при виробництві продукції створює велику кількість відходів, маса яких перевищує обсяги видобутої руди.

Сучасне функціонування залізорудної промисловості країни має специфічні особливості: вичерпаність багатих легкодоступних родовищ корисних копалин; велика глибина ведення робіт на кар'єрах; зношеність основних виробничих фондів; значні коливання світової ринкової кон'юнктури; екологічні збитки від діяльності видобувних підприємств; відсутність нових шахт та кар'єрів; військова агресія проти України яка

внесла корективи у промислову розробку залізних руд.

Для оцінки площі впливу майбутнього кар'єру авторами статті було створено 3D-модель об'єкту; висвітлені питання мінімізації впливу розробки залізистих кварцитів (збереження ресурсів підземних вод), а також був рекомендований комбінований спосіб розробки корисних копалин (відкритий до 500 м та підземний – з глибини 500 м за допомогою вертикальних стовбурів).

Ключові слова: кар'єр, гірничодобувна промисловість, Гуляйпільське родовище залізистих кварцитів, екологізація, гідрогеологічне середовище, моделювання, способи розроблення.

Determining the impact of iron ore deposit extraction on changes in the hydrogeological environment. Ulytskyi O., Dyachenko N., Kasianenko D.

This article addresses pressing issues in the modern extraction of iron ores in Ukraine. It has been established that Ukraine's post-war reconstruction will require significant economic steps from the state, including an increase in the extraction of mineral resources, particularly ferrous metal ores. The authors present the results of studies and calculations of the maximum parameters of the Huliaipole deposit of ferruginous quartzites, depending on the existing

geological, structural, tectonic, and hydrogeological conditions of the site.

One of the negative consequences of extraction is the process of slope displacement in deep open-pit mines. An analysis of their condition confirmed that landslide phenomena become widespread at depths of 300–500 m. At the same time, the mining industry generates a large amount of waste during production, with its mass exceeding the volume of extracted ore.

The current state of Ukraine's iron ore industry has several specific characteristics: Partial depletion of rich, easily accessible mineral deposits; Significant depths of open-pit mining operations; Wear and tear of primary production assets; Considerable fluctuations in the global market situation; Environmental damage caused by mining enterprises; Absence of new mines and open-pit quarries; Military aggression against Ukraine, which has introduced adjustments to the industrial extraction of iron ores.

To assess the area of impact of a future open-pit mine, the authors developed a 3D model of the site. The study also highlights issues related to minimizing the impact of ferruginous quartzite extraction (preserving underground water resources) and recommends a combined method of mineral extraction: open-pit mining up to a depth of 500 m, followed by underground mining beyond 500 m using vertical shafts.

Keywords: open-pit mine, mining industry, Huliaipole deposit, environmentalization, hydrogeological environment, modeling, extraction methods.

Опис проблеми

Наявний стан розробки рудних покладів включає багато питань як з погляду перспективи розвитку родовищ, ефективності використання надр та екологічного впливу на довкілля при видобуванні корисних копалин.

Здебільшого, видобування залізних руд здійснюється кількома методами: підземним, відкритим та комбінованим (відкрито-підземним). Кожен з методів має переваги та недоліки. Наприклад, у Криворізькому залізорудному басейні (КЗБ) за період промислової розробки руд, вплив геотехнологічних чинників призвели до погіршення гірничо-геологічних умов розроблення. Видобувні підприємства, для яких характерний

підземний спосіб видобування із застосуванням камерних систем, спрямували свої зусилля переважно на відпрацювання глибоко залягаючих рудних тіл з високим вмістом корисного компонента В той же час, на верхніх горизонтах підземних рудників КЗБ залишені значні обсяги магнетитових кварцитів, що мають промисловий інтерес та розглядаються як резерв сировинної бази України. При цьому, окремі шахти за рахунок нерентабельності виведені з експлуатації (наприклад, шахта «Першотравнева»), тобто, частина запасів корисних копалин безповоротно втрачена.

При відкритому способі розробки виникає велика кількість порожнеч, які розташовані під дном і бортами діючих кар'єрів та під міськими забудовами. Лише у КЗБ їх понад 10 млн м³. До негативних наслідків призводять процеси зрушення бортів глибоких кар'єрів. Аналіз їх стану засвідчив, що зсувні явища набувають масового характеру від фактичної глибини кар'єру в 300–500 метрів. Водночас, гірничорудна галузь при виробництві продукції виробляє значну кількість відходів, маса яких перевищує обсяги видобутої руди. Розкриті породи кар'єрів (гематитові руди) складаються у 18 відвалах, які займають 1/3 земельного відводу. Території для їх складування у КЗБ мають площу понад 36 тис. га, зокрема 19,3 тис. га під відвали, і 16,9 тис. га під шламосховища. Останні гідротехнічні споруди являють собою велику небезпеку з погляду просочування, з часом, через екран води і шламів, що може призвести до проривів дамби з викидом шламових лавин та високомінералізованих вод. Нині у шламосховищах заскладовано понад 1,2 млрд м³ шламів та акумульовано 0,5 млрд м³ води.

За даними фахівців, забезпечення високого рівня виробництва, промислової безпеки та підвищення ефективності роботи можливо внаслідок впровадження комбінованої відкрито-підземної технології розробки рудних родовищ. Прикладом такого застосування є ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат», де були закриті сучасні стволи Першотравневого рудоуправління та відкриті роботи на Першотравневному кар'єрі.

Сучасне функціонування залізорудної промисловості України має наступні специфічні оз-

наки: певна вичерпаність багатих легкодоступних родовищ корисних копалин; велика глибина ведення робіт на кар'єрах; зношеність основних виробничих фондів; значні коливання світової ринкової кон'юнктури; екологічні збитки від діяльності видобувних підприємств; відсутність відкриття нових шахт та кар'єрів; військова агресія проти України, яка внесла корективи у промислову розробку залізних руд.

В той же час, відбудова України потребуватиме від держави важливих економічних кроків, що будуть пов'язані зі зростанням видобутку корисних копалин, особливо руд чорних металів. Саме тому, виникла необхідність проведення всебічного аналізу та порівняння факторів екологічного впливу видобування залізрудних покладів в умовах різних способів їх розробки із залученням сучасних технологій математичного моделювання геологічних, геоморфологічних, гідрогеологічних та ландшафтоутворюючих факторів. Оцінка та прогнозування наслідків видобутку корисних копалин проводилась на прикладі Гуляйпільського родовища залістистих кварцитів, яке увійшло до «Переліку ділянок надр (родовищ корисних копалин), що мають стратегічне значення для сталого розвитку економіки та обороноздатності держави» [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За дослідженнями науковців з Фінляндії характер і масштаби впливу гірничодобувної діяльності на довкілля залежать від геологічних особливостей рудного родовища, а також від розміру та форми родовища, концентрації корисного компонента, від методів видобутку та збагачення, обраних технічних рішень і методів очищення для мінімізації викидів в навколишнє середовище [2]. Місце розташування родовища має важливе значення впливу на довкілля та людину, оскільки різні види землекористування, топографічні, метеорологічні та гідрологічні тісно пов'язані між собою. Тому, використання будь-якої технології видобування залежить насамперед, від природних чинників.

На думку вітчизняних фахівців розробку корисних копалин відкритим способом застосовують у разі їх залягання на порівняно невеликій

глибині, що не перевищує 300–400 метрів [3]. Підземний (шахтний) спосіб розроблення застосовують у разі великих глибин залягання родовищ (понад 500 м). Комбінований спосіб розроблення родовищ залізних руд застосовують для добування потужних крутопадаючих рудних тіл.

Наразі відкритим способом видобувають основну масу корисних копалин, зокрема близько 80% залізрудної сировини, приблизно 60% марганцевих руд та майже 70% руд кольорових металів, що пояснюється більшою економічною ефективністю відкритих розробок порівняно з підземними. Зазвичай більшість кар'єрів досягають великої потужності, що значно перевищує потужність підземних рудників. Але, для виймання руди необхідно здійснювати великий обсяг розкривних робіт (видалення порожніх порід, що налягають і вміщують порожні породи, обсяг яких досягає на великих кар'єрах десятки мільйонів кубометрів на рік). Разом з тим, під час проведення відкритих гірничих робіт, значні площі земної поверхні вилучають із господарського обігу. Тобто, незважаючи на великі масштаби впливу кар'єрного видобування на довкілля, пріоритетним чинником, переважно, є економічна складова видобутку.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Для оцінки майбутніх масштабів впливу кар'єрного або підземного видобутку корисних копалин на довкілля в контексті ефективності видобутку, авторами досліджено територію Гуляйпільського родовища залістистих кварцитів, яке розташоване на відстані 3 км на південний захід від м. Гуляй Поле, Запорізькій області (рис. 1).

Мета статті. У статті визначено низку питань розробки Гуляйпільського родовища залістистих кварцитів залежно від структурно-геологічних, тектонічних, гідрогеологічних умов родовища; оцінки впливу на довкілля; зроблені розрахунки максимальних параметрів; створено 3D-модель кар'єру; створення умов мінімізації впливу розробки залістистих кварцитів з погляду збереження ресурсів підземних вод та були розроблені рекомендації.

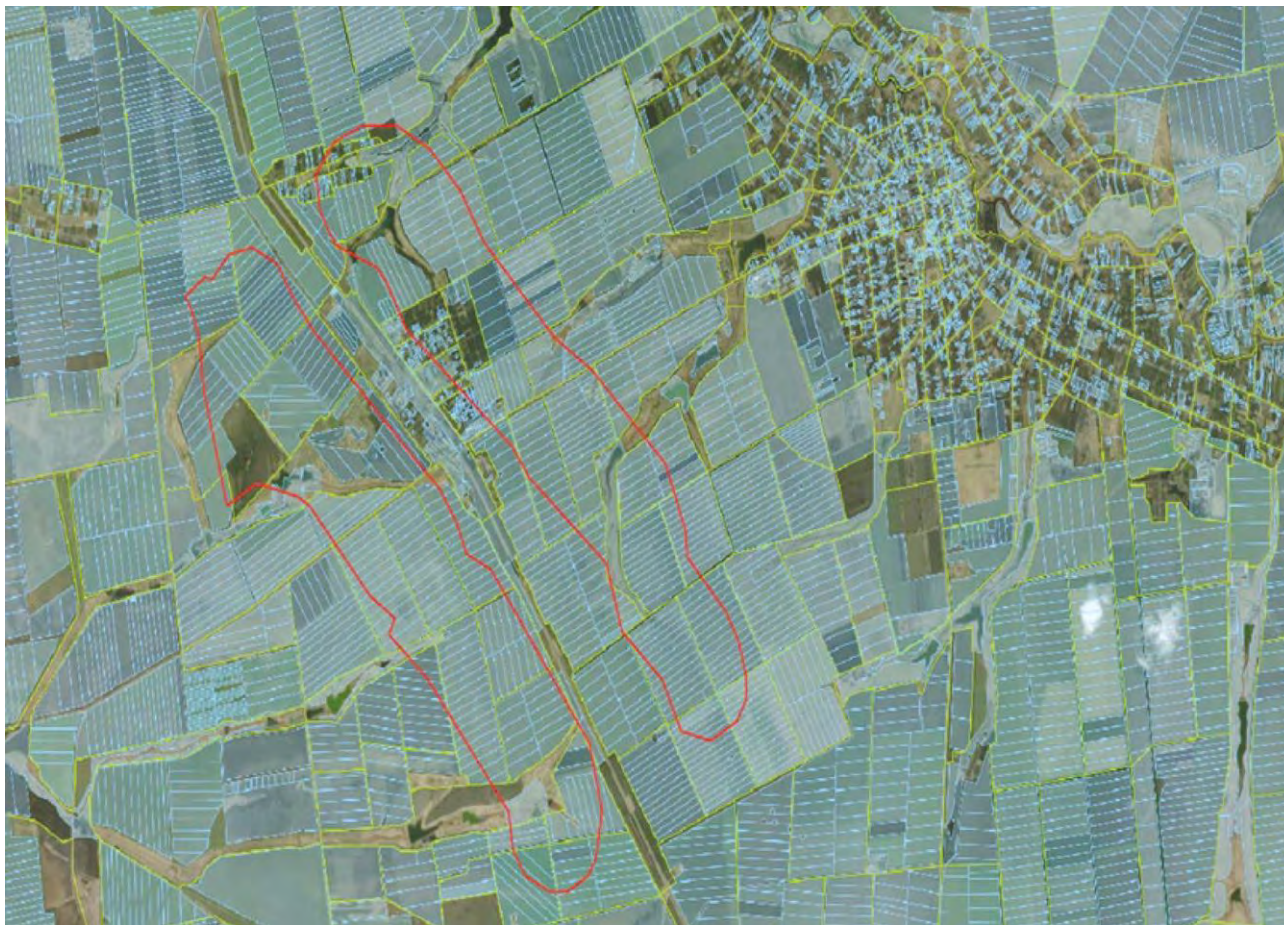


Рисунок 1. Результат поєднання винесення покладу в натуру (червоний кольори) та фрагменту інформаційної мапи (Класифікатор об'єктів адміністративно-територіального устрою України), де червоним кольором винесення покладу в натуру

Виклад основного матеріалу. Гуляйпільське родовище має 2 контури (Західний та Східний), який повторюють форму еліпсу, що витягнутий у ПнЗ напрямку ($310\text{--}315^\circ$) на 9 км, завширшки до 3 км, площею 27,5 км². Площа родовища сягає 936 га. Пласти кварцитів, які присутні в Західному та Східному крилах однойменної синклінальної складки, складають біля 3,5 млрд т (прогнозні ресурси залізистих кварцитів Гуляйпільської синклінали) та оцінені до глибини 600 м. Протяжність пласта залізистих кварцитів становить 17 км.

Геоморфологічні особливості району досліджень. Рельєф району є слабо горбистою рівниною з річними долинами, балками та ярами. Абсолютні відмітки поверхні коливаються від 95 до 170 м, а на площі родовища – від 124,5 до 157 метрів (рис. 2).

Гідромережа відноситься до басейну р. Дні-

про, що представлена його лівою притокою р. Конка з власним правим припливом рр. Жеребець та Верхня Терса і Гайчур, які є притоками р. Вовча. Безпосередньо в ореолі річні поклади відсутні. Долині рік пологі, глибиною до 30 м. та шириною 1–2 км. Русла замулені зі збереженням лише дрібних сезонних водотоків та плесів.

Напрямок природного стоку поверхневих вод зображено на рис. 3. Оскільки на площі родовища знаходяться верхів'я балок: с заходу та південного заходу – Гончарихи, Різаної, Шестіпол'я, з північного заходу – Соленої, Попова та Кучерявої, відповідно що, напрямок природного стоку направлено до цих яр-балкових мереж.

Схили балок пологі, зайняті посівами, водотік спостерігається зазвичай, в паводковий сезон. Балки використовуються з метою накопичення води для зрошення.

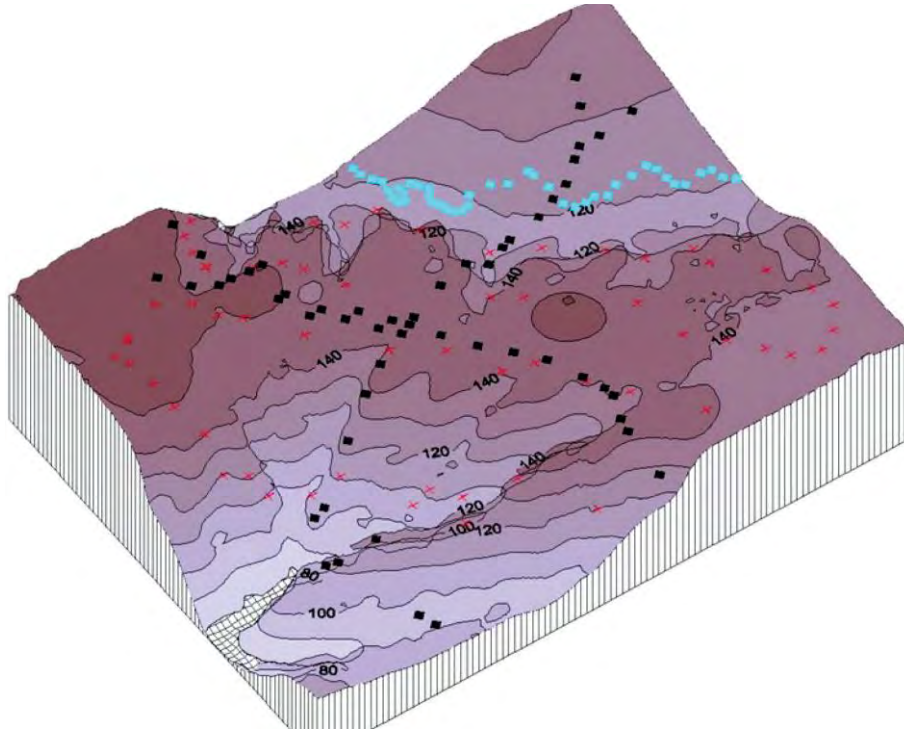


Рисунок 2. Тривимірна модель рельєфу земної поверхні з визначенням ореолів рудного тіла (червоні хрести), річок (сині кружки) та доріг (чорні точки)
де 1 – ореоли рудного тіла (червоні хрести), 2 – річки (сині кружки), 2 – дороги (чорні крапки)

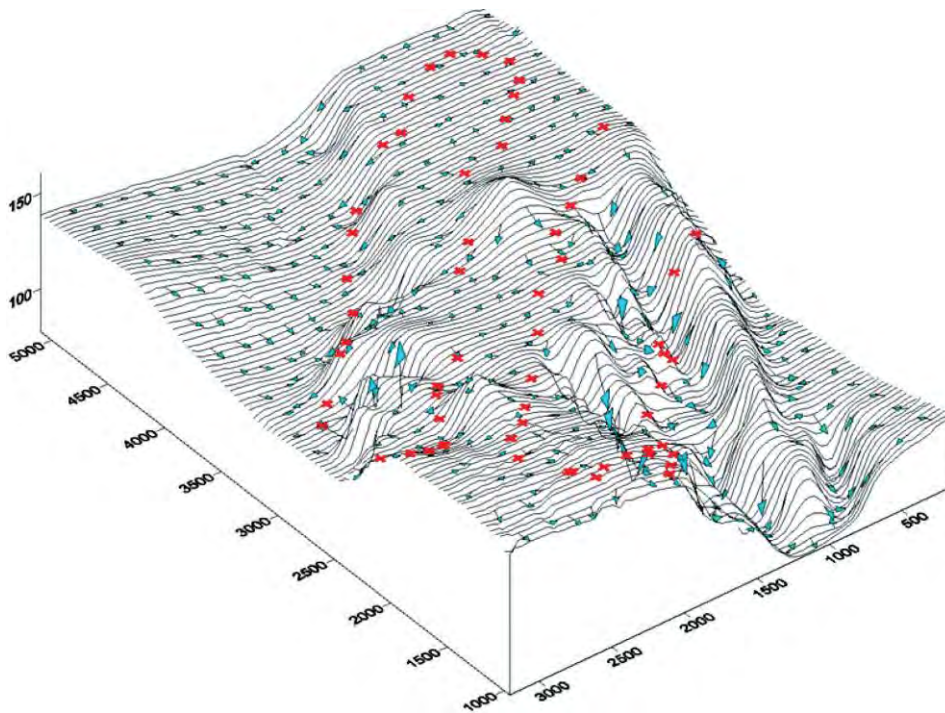


Рисунок 3. Результат моделювання напрямку природного стоку поверхневих вод в зоні родовища де 1 – ореоли рудного тіла (червоні хрести), 2 – напрямок природного поверхневого стоку вод (зелені стрілки)

Поклад Західний у північній частині розташований в ореолі Ландшафтного заказнику б. Різана, поклад Східний у північній частині розташований в ореолі Смарагдової мережі¹.

Геолого-економічна оцінка Гуляйпільського родовища залізних руд. З погляду геолого-економічної оцінки Гуляйпільського родовища залізних руд, характеризується великими компактно локалізованими запасами залізистих кварцитів (3,5 млн т, категорії В+С1+С2). Руди родовища, незважаючи на відносно невисокий зміст заліза магнетитового (16,6%) при загальному залізі 25,2% є легкозбагачуваними за простими схемами магнітної сепарації і забезпечують можливість отримання високоякісних концентратів (69–70,3%). В результаті проведеної оцінки, на державний баланс прийнято приріст запасів у кількості 1314,2 млн т, зокрема, за західним синклінальним крилом – 999,5 млн т.

Великі потужності рудного пласта і майже однорідний склад дозволить успішно застосовувати високопродуктивні комплекси відпрацювання руди відкритим способом.

Рентабельність очікуваного до освоєння родовища на стадіях пошукової оцінки та попередньої розвідки, з урахуванням одержання як планованої продукції окатишів із вмістом у них заліза 63,5%, а також продуктів збагачення становить 15,4%. При цьому, багатоваріантні техніко-економічні розрахунки засвідчили, що дане родовище є найбільшим за запасами в Приазовському районі з продуктивністю 25 млн т/рік (608 млн т концентрату). Найвигіднішим для відкриття планованого розроблення є рудний пласт західного синклінального крила, який забезпечить термін служби кар'єра протягом понад 50 років.

Натепер ця територія знаходиться в «сірій зоні», але згодом передбачається повоєнне відновлення інфраструктури та економіки. Це дасть змогу вітчизняним підприємствам налагодити виробництво що постраждалого внаслідок війни. Для таких дій потрібні розробки нових родовищ корисних копалин. Оскільки Гуляйпільське родовище увійшло до «Переліку ділянок надр (родовищ корисних копалин), які мають стратегічне значення для сталого розвитку економіки та обороноздатності держави» [1], вони будуть надаватися у користування шляхом проведення

аукціонів з продажу спеціальних дозволів на користування надрами.

У зв'язку з військовими діями, природничий потенціал території (екосистеми) значно порушений. Забруднення вод та ґрунтів, випалювання лісів, великий обсяг хімічного забруднення від снарядів, будівництво фортифікаційних споруд та пересування військової техніки, спричиняє ерозію ґрунту. Все це призводить до того, що територія за екологічними параметрами, поступово стає непридатною для життя людей. Військові дії стають причиною загибелі біоти, що призводить до руйнування природних екосистем.

Практично усі об'єкти природно-заповідного фонду що знаходяться поблизу родовища (ландшафтний заказник місцевого значення «Балка Різана» та ботанічний заказник місцевого значення «Цілинні пришляхові смуги») нині дуже забруднені та зруйновані. Територія поступово втрачає здатність підтримувати життя різних біологічних видів. Руйнування екосистеми призвело до негативних змін в цьому районі, який був важливою аграрною та рекреаційною територією. Саме тому, подальше розроблення Гуляйпільського родовища залізистих кварцитів створить умови для відновлення соціалізації території, створенням нових робочих місць, що насамперед, підвищить економічний потенціал регіону.

Геологічні, гідрогеологічні, тектонічні, особливості Гуляйпільського родовища залізистих кварцитів

Геологічна будова. В геологічній будові родовища приймають участь складно дислоковані та глибокометаморфізовані комплекси порід докембрію, кора вивітрювання і осадові відклади мезокайнозою. Розкривні породи: четвертинні відклади – суглинки, глини, піски; полтавські; харківські – піски, пісковики, алевроліти, глини; бучацькі – зверхньодрібні піски, глини, мергелі; кора вивітрювання – глиноподібна пісковикоподібна «м'яка кора» та кристалічні породи (метаморфічні породи) – кварцити та сланці.

Товща метаморфічних порід родовища поділяється на три підсвіти: нижня – сланцеве-пісковикова, середня – залізисте-кремнієва та верхня – пісковикове-сланцева.

Продуктивна товща належить до середньої світи. Пласти магнетит-силікатних кварцитів середньої світи, які залягають в Західному та Східному крилах синклінальної складки, простежуються на відстань 9,0 км, ширина між прошарками складки по пласту залізистих кварцитів біля 3,0 км. Протяжність пласта залізистих кварцитів 17 км. Замикання складчастої структури передбачається на глибині до 3–3,5 км. Будова крил витримана за простяганням, але ускладнюється у південно-західному крилі дрібнішими складками та розривними порушеннями. Останні виявляються у північній та у південній частинах родовища. Орієнтовані вони у субширотному, північно-східному, меншою мірою субмеридіальному напрямках. Найбільш тектонічно опрацьованою частиною структурою є південно-західне крило. В якому виражені метасоматичні зміни (як у гранітах), так і метаморфічній товщі [3].

Продуктивний пласт складений кумінгтоніт-біотит-магнетитовими, стильномелан-магнетитовими і кумінгтоніт-магнетитовими кварцитами. Потужність товщі залізистих кварцитів змінюється від 5 до 425 м. Падіння пластів залізистих кварцитів на крилах складки центроклінальне під кутом 68–87°. Потужність внутрішньо-рудних прошарків, слабо зруднілих та порожніх порід по покладах Західного крила коливаються від 1 до 25 м. Оконтурювання рудних покладів проведено, згідно кондиціям, з мінімальною потужністю 10 м та максимальною потужністю внутрішньо-рудних прошарків при бортовому вмісті 12% заліза магнетитового.

За масштабом, умовах залягання та характером розповсюдження корисної копалини Західна частина Гуляйпільського родовища віднесена до 2 групи класифікації запасів родовища та прогнозних ресурсів.

По площі західного крила Гуляйпільського родовища встановлено два типи руд. В верхній частині, в межах розвитку ділянкової кори вивітрювання, знаходяться окислені сидерит-мартит-лимонітові, в нижній частині – неокислені кварцити. Глибина розповсюдження зони окислення 120–150 м від поверхні. Неокислені кварцити представлені наступними різновидами: біотит-кумінгтоніт-магнетитові (висячий блок), стильномелан-рибекіт-магнетитові (центральна частина) та кумінгтоніт-магнетитовими (лежачий блок).

Тектонічна будова. У тектонічному відношенні Гуляйпільський район знаходиться у Приазовському кристалічному масиві, який є південно-східною частиною Українського щита (УЩ). Кордоном Приазовського регіону є Бердянська зона розломів на півдні, яка відокремлює його від Азово-Чорноморської западини. На півночі регіон межує з Південно-Донбаською зоною розломів із Дніпро-Донецькою западиною (ДДЗ) та складчастим Донбасом. Східна його околиця проходить по Грузько-Еланчикській зоні розломів, пастка – по Ореховській шовній зоні (Оріхово-Павлоградська складчаста зона).

Характерною особливістю Гуляйпільського блоку є північно-західне простягання в ньому розломів, порід та шарнірів складчастих структур, що підкреслює незгоду його з сусідніми структурами – Корсакською та Орехово-Павлоградською складчастими зонами [4].

У складі Гуляйпільсько-Куйбишевської купольної структури виражено гранітоїдний комплекс за участю тоналітів, плагіогранітів, діоритів, роговообманкових та інших типів гранітів та мігматитів, зупинкових тіл ультрабазитів та базитів. Вік плагіогранітів 2800 млн років, мікроклінових гранітів – 2010 млн років [4].

У більш широкому тектонічному аспекті територія включена до Приазовської металогенічної області, до складу якої крім Гуляйпільського рудного району входять Вовчанський, Західно-Приазовський та Східно-Приазовський.

Приазовський блок є докембрійською складчастою спорудою з широким поширенням метаморфічних та інтрузивних комплексів порід архейського та протерозойського віку.

До архею відносяться метаморфізовані породи західно-приазовської серії – амфіболіти, габро-амфіболіти, біотит-амфіболіти, піроксен-амфіболіти, кристалічні сланці та гнейси, магнетитові кварцити тощо. Протерозойські утворення у регіоні представлені товщею метаморфізованих осадових та ефузивних порід.

Тектонічні форми, що визначають розміщення рудних зон – поєднання купольно-кільцевих структур, глибинних регіональних порушень, що визначили складно-блокову будову Приазов'я та просторовий розподіл депресійно-складчастих синклінальних зон (рис. 4).

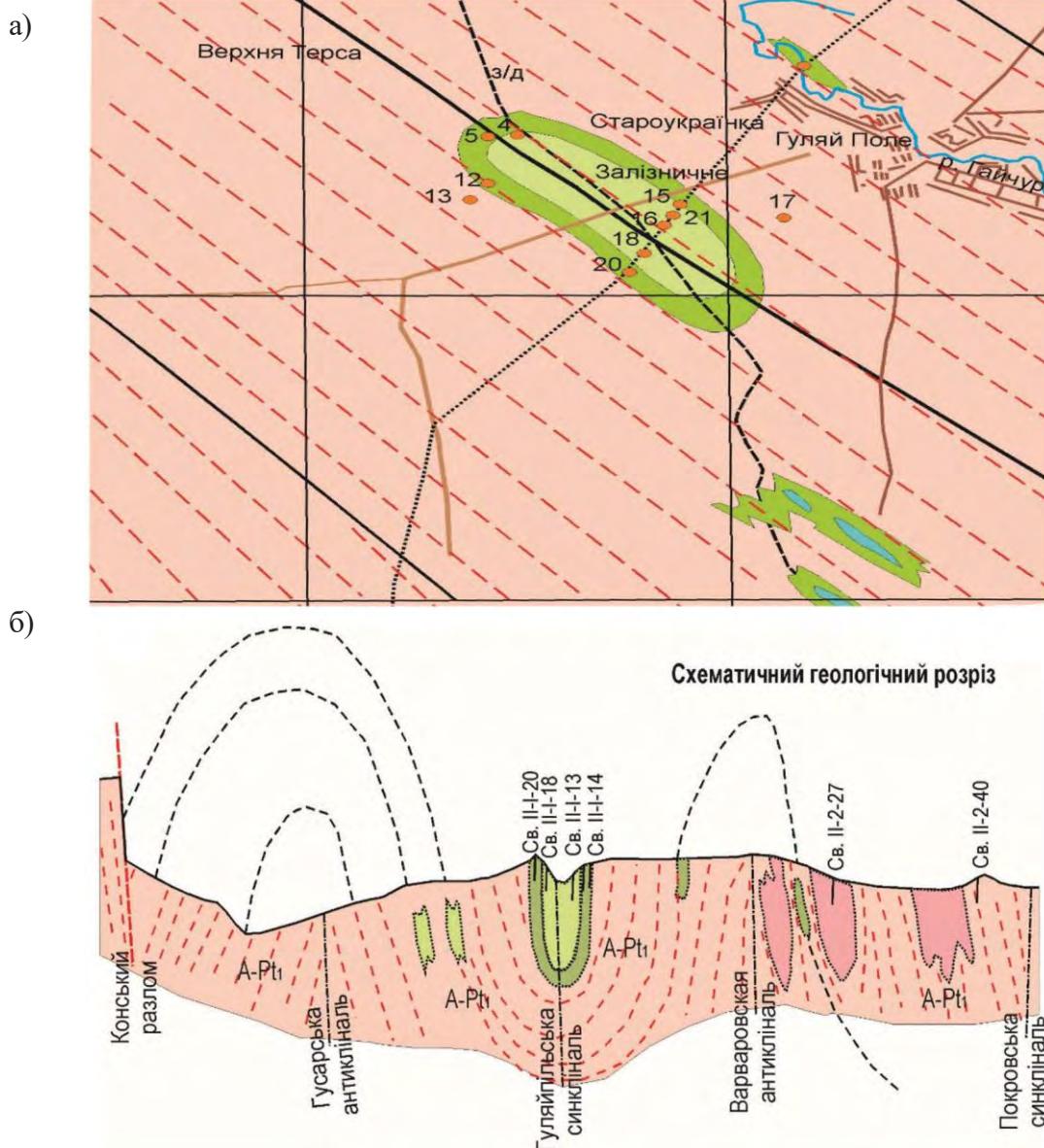


Рисунок 4. Фрагмент геологічної карти докембрію в зоні рудоносної структури (а), доповнений геологічним розрізом по лінії 1-1 (б), де 1 – св. 20–14 – рудоносне тіло

У тектонічній будові масиву Гуляйпільське родовище відноситься до однойменної складці, витягнутій у напрямку ПнЗ 310–315°, оськова площина залягає практично вертикально. Крила складки падають назустріч один одному під кутами 68–87°. Розмір довгої осі складки 9,5 км., короткої 2,2–2,8 км.

Гідрогеологічна будова. В гідрогеологічному відношенні Гуляйпільське родовище залізистих кварцитів розташовано на північно-західній околиці Консько-Ялинського малого артезіанського басейна, який знаходиться в межах гідрогеоло-

гічної області тріщинних вод Українського кристалічного масиву. В межах родовища встановлено 7 водоносних горизонтів. Основними горизонтами, які обводняють родовище і охоплюють територію в радіусі 8–10 км навколо родовища є: безнапірний полтавсько-харківський водоносний горизонт та напірні водоносні горизонти кори вивітрювання та кристалічних порід докембрію.

На території дослідження встановлено наявність наступних водоносних горизонтів [5]:

1. Четвертинний водовмісні породи еолово-делювіальні суглинки та піщано-глинисті від-

клади. Потужність горизонту від 5 до 11 м, має вільну поверхню. Глибина залягання ґрунтових вод від 1,2 до 3,8 м. Багатоводність слабка, дебіт колодязів до 1м³/год.

2. *Полтавський* – основний горизонт, який обводнює родовище та залягає єдиним комплексом. Потужність у межах кар'єру 19–49 м (Західний 1) та 2–47 м (Західний 2). Безнапірний. Статичний рівень +89 – +84 м (позначки в межах Західний 1 та 2), в районі робіт +106 – +65 м. Падіння рівнів зі сходу на захід. Горизонт має гідравлічний зв'язок із горизонтами що залягають нижче. Висока водопроникність – від 34 до 249 м²/добу. Питомий дебет свердловин – до 5,13 м³/годину. К фільтрації 0,8 – 14,8 м/добу. К рівня неспровідності 4,4*10⁴ м²/добу.

3. *Харківський* – обмежене поширення. Потужність 2–22,4 м. Водовмісні породи – глинисті, дрібнозернисті піски. Багатоводність слабка. Дебет свердловин 0,04 м³/годину. Слабо напірний.

4. *Бучацький* – поширений на невеликих ділянках у межах родовища. Водовмісні породи – піщано-глинисті вуглисті відкладення потужністю 2–3 м. Позначки рівня +81 – +82. Багатоводність слабка.

5. *Верхнекрейдяний* – суцільне поширення на південь від району робіт. У межах ділянки поширений лише на невеликій площі у північній частині родовища. Приурочений до тонкозернистих пісків. Багатоводність слабка. Напірні води з величиною напору 23 м.

6. *Кори вивітрювання* має суцільне поширення з величиною напору від 27 до 35 м (напірний). Має гідравлічний зв'язок з нижчим горизонтом тріщинуватої зони порід докембрію та з вище залягаючим полтавсько-харківським горизонтом у місцях його залягання безпосередньо на корі. Багатоводність різна, дебїти свердловин 0,006–1,94 м/добу.

7. *Води тріщинних зон кристалічних порід докембрію*. Багатоводність залежить від ступеню вивітрюваності та тріщинуватості. Поширення по латералі та в розрізі нерівномірне. Найінтенсивніші зони простежуються по глибині від 100 до 200 м. Наступні, менш інтенсивні – 200–5300 м. Нижче – тріщинуватість рідкісна, закритого типу. Горизонт напірний (32–102 м). Статичні рівні встановлюються на глибинах від 47 до 78 м. К

фільтрації варіює від 0,01 до 0,6 м/добу. Може досягати в окремих зонах до 10,8 м/добу.

Із врахуванням складних гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов родовища, залягання рудного покладу за розкривними нестійкими породами потужністю понад 100 метрів, дислокація та водоносність рудного покладу, очікується загальний водоприплив в кар'єр до 1500 м³/год. Існує необхідність проведення подальших дренажних робіт.

Оскільки на площі родовища знаходяться верхів'я балок: із заходу та південного заходу – Гончарихи, Різаної, Шестіпол'я, з північного заходу – Соленої, Попова та Кучерявої, логічно що напрямком природного стоку направлено до цих яр-балкових мереж.

Інженерно-геологічні та гірничо-технічні умови досить складні, середня потужність розкриву сягає 120 м, коефіцієнт розкриву 1,1 м³/м³.

Сучасний виклик у вирішенні питання видобутку залізистих кварцитів Гуляйпільського родовища полягає в створенні умов мінімізації впливу на довкілля за рахунок вибору належного способу розробки корисних копалин, використання новітніх технологій для екологізації виробництва і видобування та врахування прикладів розробок родовищ, що використовують більш екологічно чисті технології.

Оцінка масштабів зони порушеного ландшафту та природного геологічного масиву з урахуванням кінцевого контуру кар'єру, буде мати значно більші обсяги чим суто рудні тіла, що виявлені при геолого-вишукувальних роботах.

Для простих за формою та крутих за заляганням покладів корисних копалин максимальні параметри кар'єру по поверхні визначають:

а) довжина кар'єру по поверхні (за простяганням покладу) розраховується за формулою (1):

$$L_d = L_{dn} + 2H_k \operatorname{ctg} \gamma_{отк} \quad (1)$$

де L_{dn} – довжина покладу корисної копалини, м.

б) ширина кар'єру по поверхні (у хрест простягання покладу) розраховується за формулою (2):

$$III_n = III_d + 2H_k \operatorname{ctg} \gamma_{сеп} \quad (2)$$

де III_n ширина дна кар'єру, м;

$III_d = 20\text{--}30$ м;

$\text{ctg}\gamma_{\text{сер}}^{(1)}$ – середній кут укосу неробочих бортів кар'єру, град;

$$\text{ctg}\gamma_{\text{сер}}(1) = \frac{\gamma_{\text{сер}} + \gamma}{2} \quad (3)$$

Кути укосів неробочих бортів кар'єру для крутих покладів корисної копалини визначають з таблиці.

Аналізуючи вищенаведені особливості розрахунків, довжина та ширина кар'єру по поверхні збільшиться на 1287 м та 1400 м відповідно (порівняно з оконтуреними покладами).

З огляду особливостей геолого-тектонічної будови (круте падіння крил синклінальної складки із зануренням на глибини понад 1000 м) та отриманих авторами розрахунків довжини та шири-

Таблиця

Кути укосів неробочих бортів кар'єру

Породи	Коефіцієнт міцності порід, f	Кут укосу неробочого борту (градуси) за глибини кар'єру, м				
		≤90	≤180	≤240	≤300	>300
Найвищою мірою міцні та дуже міцні	15–20	60–68	57–65	53–60	48–54	43–49
Міцні та доволі міцні	8–14	50–60	48–57	45–53	42–48	37–43
Середньої міцності	3–7	45–50	41–48	39–45	36–43	32–37
М'які та доволі м'які	1–2	30–43	28–41	26–39	26–36	–
М'які та землісті	0,6–0,8	21–30	20–28	–	–	–

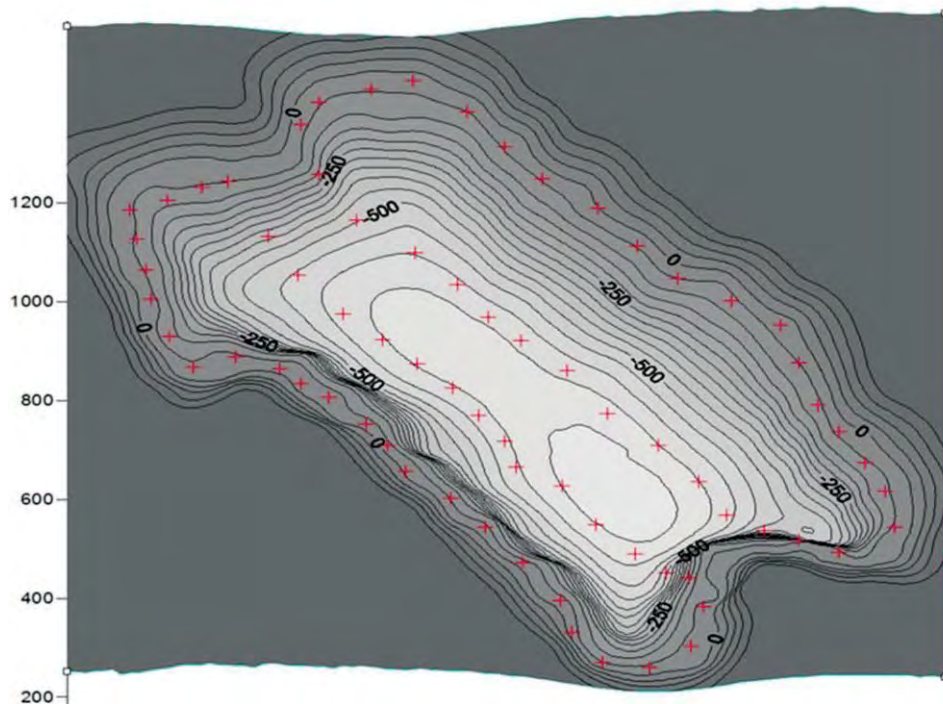


Рисунок 5. Модель майбутнього кар'єру Гуляйпільського родовища залізних руд у 3D де 1 – контур рудних тіл (червоні хрести)

ни майбутнього кар'єру при створенні 3D-моделі, може бути здійснена комбінованим способом (до глибин 500 м – відкрите та підземне розроблення) (рис. 5).

Аналізуючи способи розкриття родовищ та враховуючи літературні джерела [6], автори статті встановили наступне:

1). Вертикальні стовбури можуть бути пройдені з глибини 500 м «дна» (підшвою) кар'єру і використовуватися одночасно для підйому руди, породи, для провітрювання, доставки матеріалів і устаткування, транспортуванню людей, прокладання трубопроводів і кабельних ліній тощо. Отже, для умов глибокої шахти можна рекомендувати розкриття горизонтів із застосуванням сліпих вертикальних стовбурів.

2). Будівництво горизонту другого ступеню можливе з використанням: однієї точки прикладання робіт - від головного стовбура; двох - від головного стовбура та одного з флангових; трьох точок - від головного стовбура та обох флангових або - від головного стовбура, флангового та тимчасового приштрекового; п'яти точок - від головного стовбура, двох флангових і двох тимчасових приштрекових.

Створення умов мінімізації впливу розробки залізистих кварцитів з погляду збереження ресурсів підземних вод

Найбільша величина водопривлів буде спостерігатися у період будівництва кар'єра, коли статичні запаси підземних вод становитимуть приблизно 50% від загальної величини. Під час експлуатації кар'єра величина водопривлів за рахунок підземних вод перебуватиме в межах 700–1200 м³/год, а з урахуванням атмосферних опадів 1100–1500 м³/год. Це значення можна прийняти за максимальне. Водночас, під час експлуатації особливо під час проходки в кристалічних породах, необхідно дотримуватися обережності під час розкриття тріщинних зон, за якими під час випробування, було отримано коефіцієнт фільтрації 10,87 м/добу.

Річки Гайчур і Конка в літній період, зазвичай стають маловодними та часто пересихають. Ресурси підземних вод району досить обмежені, що пояснюється малою кількістю опадів та

малою потужністю водних горизонтів, а також слабкою напірністю. Розкриті кар'єром водоносні горизонти, відповідно, дещо зменшать водність району. Раніше планувалося використовувати воду Каховського водосховища, як джерело додаткового водопостачання гірничого підприємства, але після руйнування, це виявилось неможливим. У зв'язку з цим, доцільно використати схему самопливного колектору до збудованого водозбірника, коли дренажні води до виходів бортів кар'єра на проектне положення колектором надходять до водозбірника, звідки перекачуються до хвостосховища, де спільно із кар'єрними водами можуть бути використані для виробничого оборотного водопостачання. Загальна кількість побутових стоків за розрахунками становить 29 тис. м³/добу, з яких від промислових об'єктів 3,5 тис. м³/добу, від населення 20 тис. м³/добу, не обліковані – 5,5 тис. м³/добу. Ці стоки системою самопливних колекторів, насосних станцій і напірних трубопроводів повинні бути відведені на очисні споруди, для проведення біологічного очищення. В подальшому, очищені стоки відводяться в ставок-накопичувач та насосною станцією, по напірному трубопроводу, будуть подаватися на поля агропромислового призначення для зрошення.

Висновки

За результатами проведеної оцінки та максимальних розрахунків параметрів майбутнього кар'єру Гуляйпільського родовища залізистих кварцитів, залежно від існуючих гірничо-геологічних, структурно-тектонічних та гідрогеологічних умов, авторами статті було створено 3D-модель кар'єру. В роботі були висвітлені питання створення умов мінімізації впливу розроблення залізистих кварцитів з погляду збереження ресурсів підземних вод та їх відтворення. Також було розроблено схему водопостачання та водокористування під час видобутку.

Авторами статті було рекомендовано комбінований спосіб розробки залізистих кварцитів (відкритий до 400 м та підземний – з глибини 400 м за допомогою вертикальних стовбурів) для мінімізації негативних наслідків процесу зрушення бортів глибоких кар'єрів.

Список використаних джерел

1. «Про стимулювання пошуку, видобутку та збагачення корисних копалин, які мають стратегічне значення для сталого розвитку економіки та обороноздатності держави»: Рішення Ради національної безпеки України від 16.07.2021, № № 306/2021: станом на 02.03.2025. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0046525-21>.
2. Morris P., Therivel R., Wood G. *Methods of Environmental and Social Impact Assessment*. Location New York. New York, 2017. Т. 4. С. 740. URL: <https://doi.org/doi.org/10.4324/9781315626932>.
3. Каталенец А., Пирогова В. О метасоматозе на Гуляйпольском месторождении. *Минералогия рудных месторождений Украины*. К : Наукова думка, 1984. С. 149–159.
4. Структуры железорудных полей и месторождений Приазовья / А. Каталенец та ін. *Геология и разведка*. 1986. вип. 12. С. 28–39.
5. Linder U. *Mining and Construction - Special Innovations: RCS, Atlas Copco Rock Drills*. Örebro, Sweden. 2011. Т. 1. С. 20–22.

ІНТЕГРАЦІЯ LST-ІНДЕКСІВ ТА СЦЕНАРІЇВ RCP ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ МІСТ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЙНИХ ЗМІН

Кірейцева Г. В., Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Хоменко С. В.,
Хрутьба В. О., Мазуркевич К. В.

Державний університет «Житомирська політехніка»,
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

gef_kgv@ztu.edu.ua,

ke_miyu@ztu.edu.ua,

org_hsv@ztu.edu.ua,

23v_mkv@liceum.ztu.edu.ua

В умовах сучасних глобальних викликів дослідження теплового режиму урбанізованих територій, набуває особливої актуальності через одночасний вплив декількох трансформаційних чинників: урбанізації, кліматичних змін та військових дій. У статті представлено результати комплексного дослідження динаміки теплового поля Житомирської об'єднаної територіальної громади (ОТГ) за період 1990–2024 рр., з використанням методів дистанційного зондування та геоінформаційних технологій. Для аналізу температурного режиму території проаналізовано кліматичні дані за 1981–2020 років, з урахуванням сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5. Детальний аналіз частотних розподілів LST-індексу демонструє еволюцію від близького до нормального розподілу в 1990 році до вираженої бімодальності в 2020 році та формування складної полімодальної структури в період 2022–2024 років. Це відображає посилення просторової неоднорідності теплового поля міської території в умовах трансформаційних змін. Для валідації результатів LST-моніторингу проведено їх співставлення з даними кліматичних сценаріїв. Дослідження підтверджує, що LST-індекс є валідним та ефективним інструментом міського температурного моніторингу, який забезпечує комплексну оцінку термічного режиму урбанізованої території з високою просторовою деталізацією та часовою

роздільною здатністю. Висока кореляція з даними кліматичних сценаріїв у стабільних умовах та чутливість до аномальних змін в кризових ситуаціях роблять його незамінним інструментом для розроблення та імплементації стратегій термічної адаптації міського середовища. Особлива увага в дослідженні приділена аналізу трансформації теплового режиму міста в умовах військових дій та енергетичної кризи. Загалом, проведене дослідження демонструє високий потенціал використання LST-індексу як інструменту оцінки та прогнозування теплового режиму урбанізованих територій в умовах трансформаційних змін. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення методів просторового аналізу теплових полів, розроблення комплексних моделей термічної адаптації міст та створення систем раннього попередження про температурні аномалії в міському середовищі.

Ключові слова: екологічна безпека, теплове поле, LST-індекс, кліматичні зміни, трансформаційні зміни, сталий розвиток.

Integrating lst indices and rcp scenarios for urban heat monitoring amid transformational changes. Kireitseva H., Tsyganenko-Dziubenko I., Khomenko S., Khrutba V., Mazurkevych K.

Urban heat monitoring is increasingly critical due to the combined impacts of urbanization, climate

change, and military conflicts. This study analyzes the thermal dynamics of the Zhytomyr urban community from 1990 to 2024 using remote sensing and GIS technologies. Climate data from 1981 to 2100 were assessed under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

Findings indicate a shift from a near-normal temperature distribution in 1990 to pronounced bimodality in 2020 and a complex polymodal structure by 2022–2024, highlighting growing spatial heterogeneity in urban heat patterns. LST index validation against climate projections confirms its reliability for high-resolution thermal monitoring. Its strong correlation with climate scenarios and sensitivity to anomalies make it a valuable tool for developing urban thermal adaptation strategies.

The study also examines heat regime shifts due to war and energy crises, emphasizing the LST index's potential for predictive modeling and early warning systems. Future research should focus on refining spatial heat analysis, enhancing urban thermal adaptation models, and developing temperature anomaly forecasting systems.

Keywords: environmental security, urban heat, LST index, climate change, transformational shifts, sustainable development.

Постановка проблеми

В умовах сучасних глобальних викликів урбанізовані території зазнають впливу одночасно діючих трансформаційних чинників: урбанізації, кліматичних змін та військових дій. Якщо вплив урбанізації та кліматичних змін на тепловий режим міст є відносно дослідженим та прогнозованим процесом, то дослідження наслідків військових дій в поєднанні ними створює принципово нову ситуацію, що потребує комплексного наукового вивчення. Проблема полягає у відсутності підходів до оцінки та прогнозування теплового режиму урбанізованих територій в умовах одночасної дії декількох трансформаційних чинників різної природи. Особливої актуальності вона набуває в контексті російсько-української війни, яка призвела до масштабних порушень систем енергозабезпечення та кардинальної зміни режиму експлуатації міської інфраструктури. Традиційні методи моніторингу теплового режиму міст виявляються недостатньо ефективними

в умовах швидких та непередбачуваних змін, спричинених військовими діями.

Тому, існує нагальна потреба у розробленні нових методологічних підходів, які б дозволили оцінювати комплексний вплив урбанізації, кліматичних змін та військових дій на тепловий режим міст, прогнозувати зміни теплового поля міських територій з урахуванням можливих сценаріїв розвитку ситуації та розробляти ефективні адаптаційні заходи у сфері міського господарства в умовах невизначеності та множинних ризиків.

Актуальність дослідження

Проблема адаптації урбанізованих територій до кліматичних змін набуває все більшої актуальності у світовому науковому дискурсі. Сучасні дослідження фокусуються на вивченні впливу різних кліматичних сценаріїв на урбанізовані території, розробленні методів прогнозування та оцінки потенційних ризиків для урбанізованих екосистем. Аналіз наукової літератури свідчить про формування комплексного підходу до вивчення взаємозв'язків між кліматичними змінами та розвитком урбанізованих територій в різних географічних та соціально-економічних умовах. На основі аналізу міжнародних досліджень, Олесон К., Андерсон Г., Джонс Б. та встановили, що міські теплові хвилі у США є більш інтенсивними порівняно з середніми показниками, причому впровадження сценарію RCP4.5 дозволяє зменшити кількість днів із тепловими хвилями приблизно на 50%, що суттєво знижує їх вплив на міські громади [16]. Фундаментальні дослідження Абідун Б., Адегоке Дж., Абатан А. присвячені оцінці впливу кліматичних змін на екстремальні опади в чотирьох прибережних африканських містах. Результати моделювання показали тенденцію до зменшення кількості вологих днів та збільшення тривалості посушливих періодів, при цьому для міста Лагос (Нігерія) прогнозується підвищення інтенсивності добових опадів [1].

Група науковців під керівництвом Лу Чень розробила модель покрокового кластерного аналізу для прогнозування температурних екстремумів на прикладі міста Торонто (Канада). Встановлено, що середні температури в місті

зростатимуть зі швидкістю $0,15^{\circ}\text{C}$ та $0,5^{\circ}\text{C}$ за десятиліття за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 відповідно [14]. Результати досліджень Данандех Мер А., Сорман А. та співавторів на прикладі Анкари (Туреччина) з використанням стандартизованих індексів опадів та евапотранспірації показали, що в найближчому майбутньому (2016–2040 р.р.) очікується зменшення кількості посушливих явищ без екстремальних посух за обома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 [5].

Комплексний аналіз кліматичних змін був проведений у 49 польських містах, вченими Стружевською Дж., Камінські Я. та Єфімовим М., та виявив потенційне підвищення середньорічної температури приблизно на 1°C , збільшення кількості спекотних днів на 3,7 дні та зменшення кількості холодних днів на 19 днів, а також зростання річної суми опадів до 80 мм за сценарієм RCP8.5.

Дослідження теплового режиму урбанізованих територій є одним із пріоритетних напрямків сучасної урбоекології та кліматології. Застосування методів дистанційного зондування та геоінформаційних технологій дозволило значно розширити можливості аналізу просторово-часової динаміки температури міської поверхні та факторів, що її визначають. Огляд останніх наукових публікацій демонструє активний розвиток методологічних підходів до оцінки та моделювання теплових полів міських територій із урахуванням їх структурно-функціональної організації та локальних кліматичних особливостей.

Метою роботи є моделювання теплового поля урбанізованої території на основі інтеграції даних дистанційного зондування та кліматичних сценаріїв в умовах трансформаційних змін на прикладі Житомирської об'єднаної територіальної громади (ОТГ).

Викладення основного матеріалу

Інформаційною основою дослідження теплового поля Житомирської ОТГ слугували дані дистанційного зондування Землі, отримані з супутникових систем серії Landsat за період 1990–2024 роки. Використано мультиспектральні знімки високої роздільної здатності (30 м) з супутників Landsat-4,5 Thematic Mapper

(1990–2001 р.р.) та Landsat-8,9 Operational Land Imager (OLI) і Thermal Infrared Sensor (TIRS) (2010–2024 рр.). Знімки відбиралися для зимового періоду з мінімальною хмарністю (менше 10%) та високою якістю радіометричної корекції.

Для аналізу температурного режиму території використано вибірку кліматичних даних за 1981–2010 рр. з бази даних Українського гідрометеорологічного інституту спільно з Національною академією наук України, отриману через веб-ресурс Climate Change Viewer (<https://climate.uhmi.org.ua/>). Масив даних включав абсолютні значення температури, проєкції за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5, їх відхилення від базового періоду 1981–2010 років. Особлива увага приділялася даним за зимовий період, коли вплив енергетичної кризи на тепловий режим міста проявляється найбільш виразно.

У процесі комплексного дослідження термічного режиму території Житомирської ОТГ застосовано інтегральну методику розрахунку Land Surface Temperature (LST) на основі даних дистанційного зондування Землі, отриманих з супутникових систем серії Landsat. Методологічний підхід ґрунтується на використанні мультиспектральних знімків високої роздільної здатності та передбачає послідовне виконання алгоритму термічного картографування урбанізованих територій з урахуванням специфіки міського середовища [8].

Інформаційно-технологічною основою дослідження слугують спектральні канали Landsat TM, що забезпечують можливість розрахунку температури земної поверхні з просторовою роздільною здатністю 30 метрів. Особливу увагу в методології приділено термічному каналу (Band 6), який характеризується оптимальними параметрами для визначення теплових характеристик урбанізованої території. Технічні характеристики даного каналу дозволяють здійснювати високоточну фіксацію теплового випромінювання в діапазоні довжин хвиль 10,4–12,5 мкм [8].

Запропонована методика геопросторового моделювання дозволяє здійснювати високоточне картографування теплового поля урбанізованих територій із урахуванням просторової неоднорідності підстильної поверхні, типу землекористування та сезонної динаміки термічного режиму. Інтеграція даних дистанційного зондування

з наземними метеорологічними спостереженнями забезпечує комплексний підхід до оцінки термічного стану урбанізованого середовища. Отримані результати просторового моделювання створюють інформаційну основу для подальшого аналізу та прогнозування кліматичних змін досліджуваної території в контексті сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5, що є особливо актуальним в умовах трансформаційних змін.

Верифікація результатів моделювання здійснюється шляхом порівняльного аналізу отриманих значень LST з даними наземних метеорологічних спостережень, що дозволяє оцінити точність та надійність запропонованої методики. Застосування геоінформаційних технологій та методів просторової статистики забезпечує можливість виявлення закономірностей просторового розподілу теплових полів та їх динаміки в межах досліджуваної території.

Ретроспективна оцінка ситуації 2024 року в умовах масового відключення електроенергії відображає суттєву трансформацію теплового поля громади. У північній частині, де розташовані об'єкти критичної інфраструктури, сформувалися локальні осередки підвищених значень LST-індексу (0,6–0,7). Центральна історична частина характеризується мозаїчною структурою теплового поля з чергуванням ділянок різ-

ної інтенсивності (0,3–0,5). У південно-східному секторі, де переважає багатоповерхова забудова, спостерігається загальне зниження значень до 0,2–0,4. Західні райони з приватною забудовою демонструють відносну стабільність показників (0,4–0,5) завдяки автономним системам опалення. Частотний розподіл набув бімодального характеру, що відображає поляризацію теплового режиму міської території в умовах енергетичної кризи.

У 1990 році спостерігається відносно рівномірний розподіл теплового поля. У північній частині міста, де розташовані промислові підприємства, значення LST-індексу досягають 0,5–0,6. Центральна історична частина характеризується помірними показниками (0,4–0,5). Південно-східний сектор з багатоповерховою забудовою демонструє підвищені значення (0,5–0,7). У західних районах з приватною забудовою та значною часткою зелених насаджень фіксуються найнижчі показники (0,2–0,3) (рис. 1).

Наступний часовий зріз відображає початок трансформації теплового режиму міста під впливом інтенсифікації урбанізаційних процесів (рис. 2).

На початку 2000-х років відмічається посилення контрастності теплового поля. У північно-східній промисловій зоні значення індексу

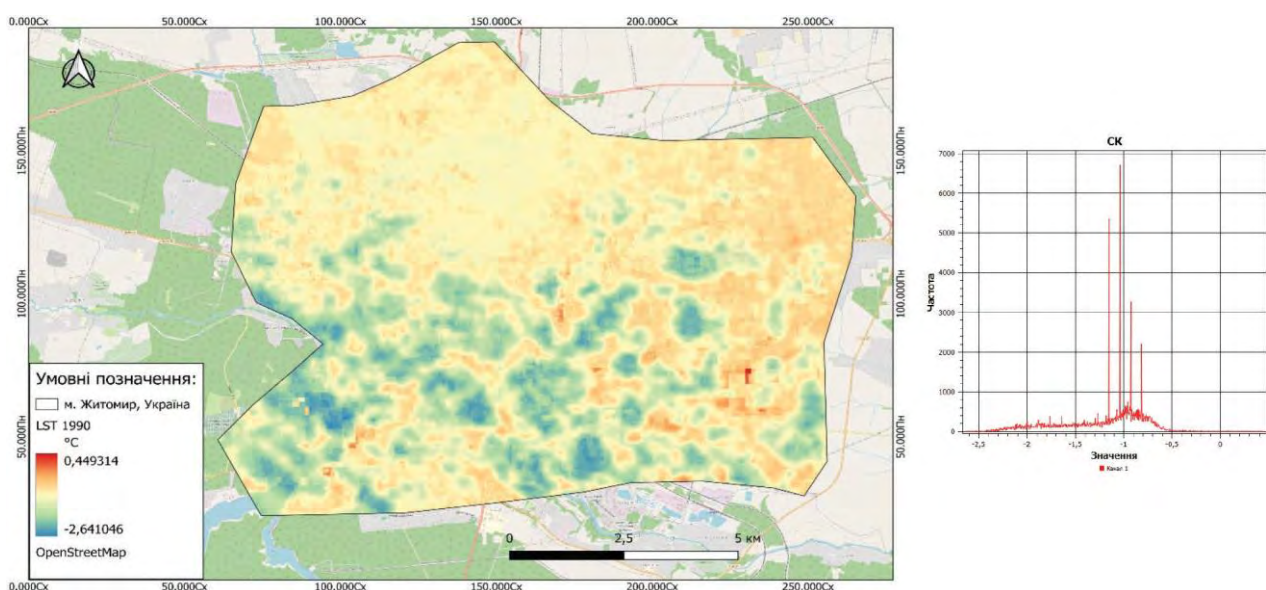


Рисунок 1. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

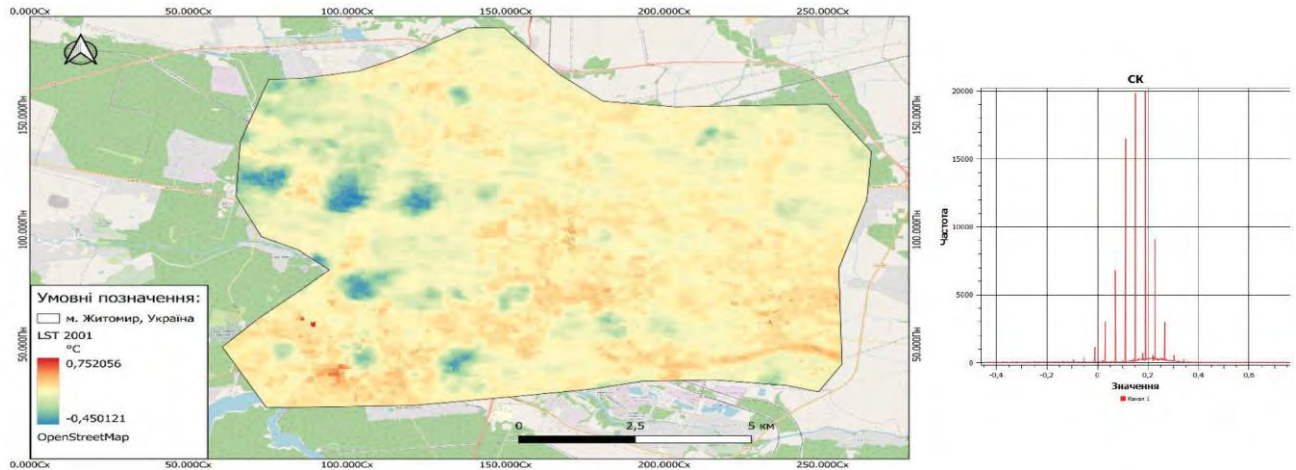


Рисунок 2. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

зросли до 0,6–0,8. Історичний центр характеризується формуванням локальних «теплових островів» (0,5–0,7). У південній частині міста з новою багатоповерховою забудовою фіксуються максимальні показники (0,7–0,8). Західна периферія зберігає відносно низькі значення (0,3–0,4). Подальший розвиток міста призвів до суттєвих змін у структурі теплового поля (рис. 3).

У 2010 році спостерігається чітка диференціація теплового поля. Північна промислова зона характеризується стабільно високими значеннями LST-індексу (0,7–0,8). В історичному центрі сформувався виражений тепловий «острів» з показниками 0,6–0,8. Південно-східний сектор багатоповерхової забудови демонструє макси-

мальні значення (0,8–0,85). У західних районах індивідуальної забудови зберігаються відносно низькі показники (0,3–0,4), але з тенденцією до зростання. Передвоєнний період характеризується максимальною трансформацією теплового режиму міської території внаслідок інтенсивної урбанізації (рис. 4).

До 2020 року сформувалася контрастна структура теплового поля. У північно-східному промисловому районі значення LST-індексу досягають 0,8–0,9. Центральна частина міста характеризується суцільною зоною підвищених значень (0,7–0,8). У південному секторі нової забудови фіксуються найвищі показники (0,85–0,9). Західна периферія демонструє помірні зна-

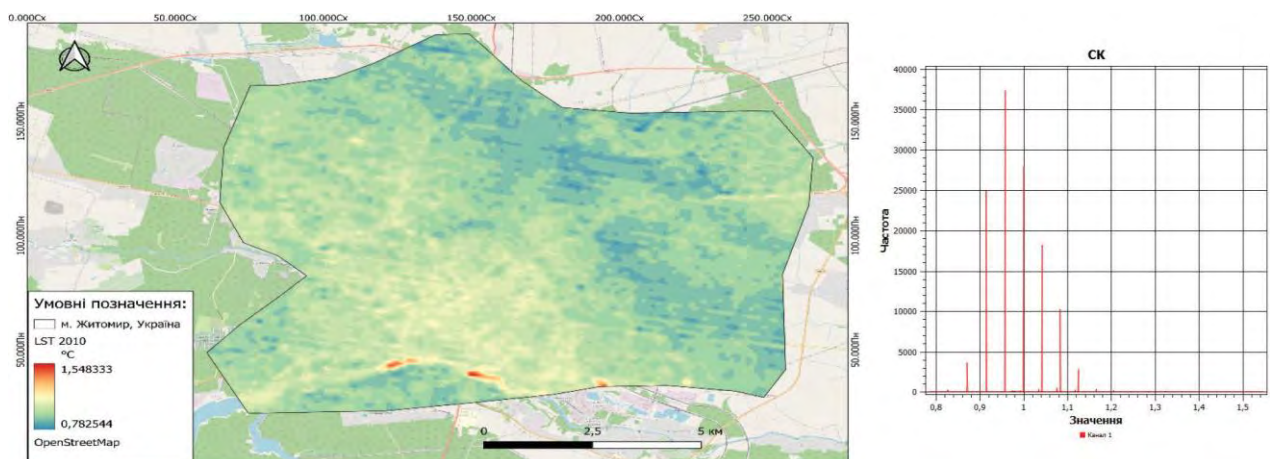


Рисунок 3. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

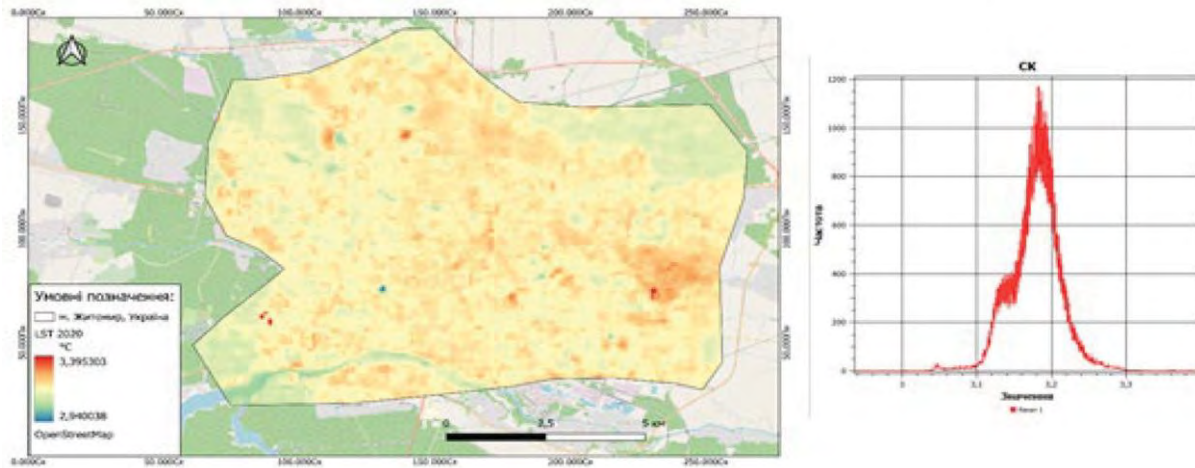


Рисунок 4. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

чення (0,4–0,5) з локальними аномаліями біля нових житлових комплексів.

Початок воєнного періоду (2022 р.) призвів до суттєвої трансформації усталеної структури теплового поля міста (рис. 5).

Внаслідок воєнних дій у 2022 році спостерігалось порушення звичної структури теплового поля. У північній промисловій зоні відбулося зниження значень LST-індексу до 0,3–0,4 через зупинку виробництва. Центральна частина зберігає підвищені показники (0,5–0,6) завдяки щільній забудові. У південно-східному секторі значення варіюють від 0,4 до 0,7 залежно від режиму енергопостачання. Західні райони демонструють стабільні показники (0,3–0,4) завдяки автоном-

ним системам опалення. Період масових відключень електроенергії характеризується формуванням нової просторової структури теплового поля (рис. 6.). Ситуація 2024 року відображає адаптацію міської території до умов енергетичної кризи. У північній частині сформувалися локальні осередки підвищених значень (0,6–0,7) навколо об'єктів критичної інфраструктури. Історичний центр характеризується мозаїчною структурою (0,3–0,5) внаслідок нерівномірного енергопостачання. У південно-східному секторі багатопверхової забудови відбулося загальне зниження показників до 0,2–0,4. Західні райони зберігають відносну стабільність (0,4–0,5) завдяки переважанню автономних систем опалення.

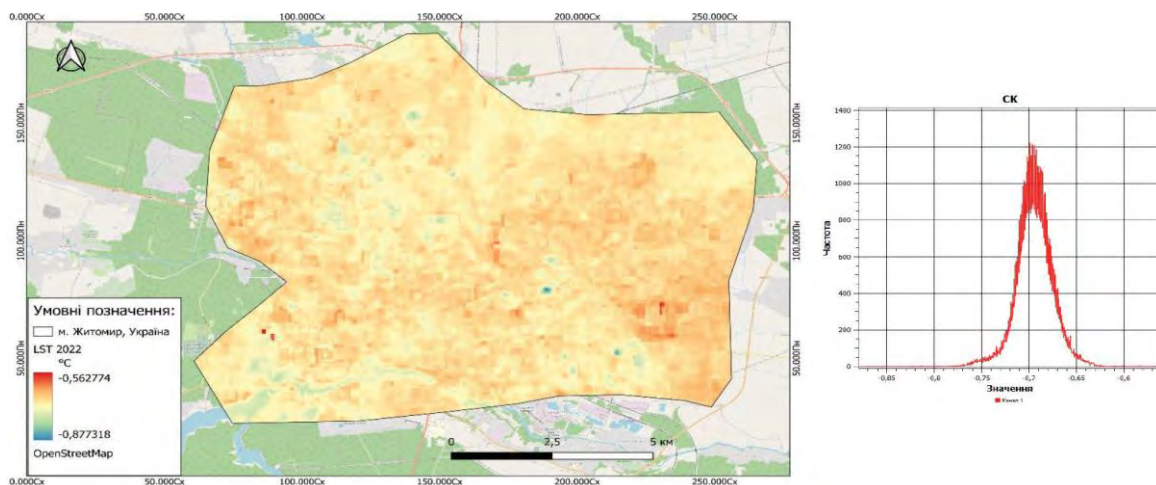


Рисунок 5. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл у перший повоєнний зимовий період

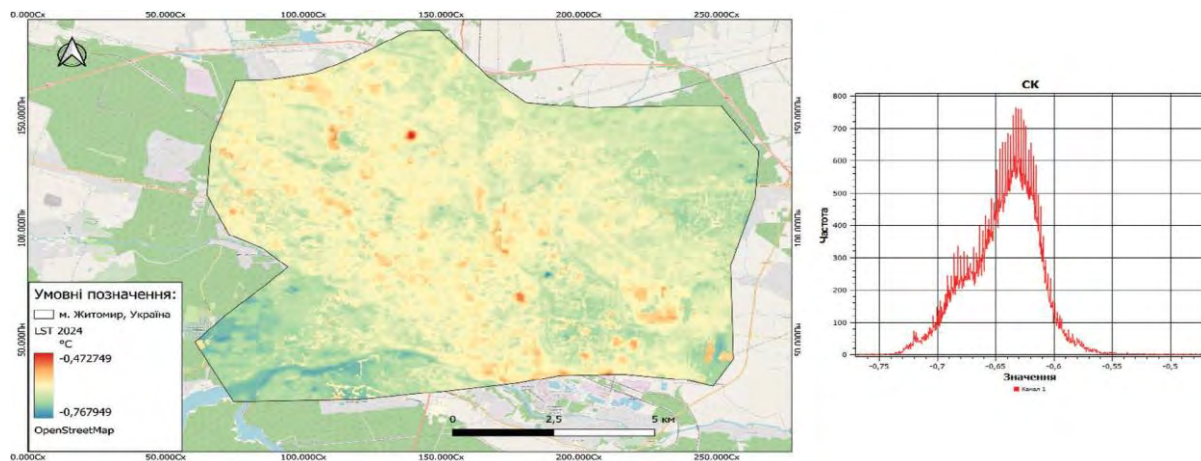


Рисунок 6. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

Порівняльний аналіз просторово-часової динаміки теплового поля Житомирської МТГ за період 1990–2024 років дозволив виявити ряд закономірностей у трансформації термічного режиму урбанізованої території. За період 1990–2020 років спостерігалася стійка тенденція до посилення контрастності теплового поля, що проявлялося у зростанні амплітуди значень LST-індексу від 0,4 у 1990 р., до 0,8 у 2020 році. Найбільш інтенсивні зміни відбулися в північній промисловій зоні, де значення індексу зросли з 0,5–0,6 до 0,8–0,9, та в південно-східному секторі багатоповерхової забудови (з 0,5–0,7 до 0,85–0,9). Водночас західні райони з приватною забудовою демонстрували відносну стабільність показників з незначною тенденцією до зростання від 0,2–0,3 до 0,4–0,5).

Кардинальні зміни у структурі теплового поля відбувалися протягом 2022–2024 років під впливом російсько-української війни та пов'язаної з нею енергетичної кризи. У північній промисловій зоні відбулося різке зниження значень LST-індексу (з 0,8–0,9 до 0,3–0,4) внаслідок зупинки виробництва. Центральна історична частина міста трансформувалася з суцільної зони підвищених значень (0,7–0,8) у мозаїчну структуру з чергуванням ділянок різної інтенсивності (0,3–0,5). Південно-східний сектор характеризувався найбільшою динамічністю показників – від максимальних значень 0,85–0,9 у 2020 році до мінімальних 0,2–0,4 у період масових відключень електроенергії.

Аналіз частотних розподілів LST-індексу демонструє еволюцію від близького до нормального розподілу в 1990 році до вираженої бімодальності в 2020 році та формування складної полімодальної структури в періоди 2022–2024 років, що відображає посилення просторової неоднорідності теплового поля міської території в умовах трансформаційних змін. Особливу роль у трансформації термічного режиму відіграли зміни в системі енергопостачання та режимі експлуатації будівель, що призвело до формування просторового розподілу теплового поля.

У контексті зростаючої актуальності проблеми адаптації міських територій до кліматичних змін та необхідності забезпечення енергетичної стійкості міських громад, особливого значення набуває валідація методів дистанційного термічного моніторингу урбанізованих територій. Верифікація LST-індексу як інструменту температурного моніторингу проводилась шляхом співставлення числових показників температурного режиму, отриманих за різними методологічними підходами, із подальшим розрахунком статистичних параметрів узгодженості даних. Для оцінки достовірності результатів застосовано комплексний статистичний аналіз, що включає розрахунок коефіцієнтів кореляції та апроксимації, які дозволяють кількісно охарактеризувати ступінь відповідності між прогностичними кліматичними сценаріями та фактичними даними супутникового моніторингу (таблиця).

Таблиця 1

Співставлення температурних показників за даними кліматичних сценаріїв та LST-індексу для Житомирської МТГ

Періоди	Температурні показники за кліматичними сценаріями	Значення LST-індексу	Температурні показники за LST (°C)	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт апроксимації (R ²)
1990	–2°C до +1°C	0,2–0,6	–1,5°C до +0,5°C	0,72	0,68
2001	–1°C до +1,5°C	0,3–0,8	–0,8°C до +1,2°C	0,78	0,74
2010	–0,5°C до +2°C	0,3–0,85	–0,3°C до +1,8°C	0,81	0,79
2020	0°C до +2,5°C	0,4–0,9	0°C до +2,2°C	0,85	0,82
2022–2024*	+0,5°C до +3°C	0,2–0,7	–1°C до +1,5°C	0,45	0,38

Результати комплексного статистичного аналізу демонструють високу достовірність даних LST-моніторингу в контексті оцінки термічного режиму урбанізованої території. Коефіцієнт детермінації (R²), який характеризує якість апроксимації реальних даних прогностичною моделлю, демонструє стійке зростання протягом довоєнного періоду від 0,68 у 1990 році до 0,82 у 2020 році, що свідчить про підвищення точності та надійності супутникового моніторингу. Паралельне зростання коефіцієнтів кореляції та апроксимації підтверджує системний характер удосконалення методології LST-моніторингу та її зростаючу релевантність для завдань міського температурного менеджменту.

Особливої уваги заслуговує різке зниження статистичних показників узгодженості даних у період 2022–2024 років, коли коефіцієнт апроксимації знизився до 0,38, а коефіцієнт кореляції – до 0,45. Це зниження статистичних показників не свідчить про погіршення якості LST-моніторингу, а навпаки, демонструє його високу чутливість до екстраординарних змін у термічному режимі міської території, спричинених військовими діями та енергетичною кризою. Здатність LST-індексу оперативно відображати подібні трансформації є його важливою перева-

гою порівняно з традиційними методами температурного моніторингу.

Аналіз абсолютних температурних показників виявляє високу узгодженість між кліматичними сценаріями та даними LST-моніторингу в стабільних умовах, з відхиленнями, що не перевищують 0,5°C. У кризовий період 2022–2024 років зафіксовано значні розбіжності між прогнозованими та фактичними температурами (до 1,5°C), що пояснюється впливом локальних антропогенних факторів, не врахованих у кліматичних моделях. Ця особливість підкреслює унікальну здатність LST-індексу до детектування локальних температурних аномалій та оперативної оцінки змін термічного режиму міського середовища.

Перспективи використання результатів дослідження

Результати проведеного дослідження мають широкі перспективи практичного застосування та подальшого наукового розвитку в різних сферах міського управління та планування. Отримані дані та розроблені методологічні підходи можуть бути ефективно використані для розро-

блення стратегій адаптації міст до кліматичних змін з урахуванням локальних особливостей теплового режиму та оптимізації систем міського теплопостачання на основі деталізованих теплових карт. Важливим напрямком є вдосконалення методології моніторингу через розробку нових алгоритмів просторового аналізу теплових полів урбанізованих територій та інтеграцію різних джерел даних для підвищення точності температурного моніторингу.

Висновки

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що LST-індекс є валідним та ефективним інструментом міського температурного моніторингу, який забезпечує комплексну оцінку термічного режиму урбанізованої території з високою просторовою деталізацією та часовою роздільною здатністю. Висока кореляція з даними кліматичних сценаріїв у стабільних умовах та чутливість до аномальних змін в кризових ситуаціях роблять його незамінним інструментом для розроблення та імплементації стратегій термічної адаптації міського середовища, оптимізації систем теплопостачання та енергетичного менеджменту територіальних громад. Результати дослідження підтверджують, що використання LST-індексу для моніторингу температурного режиму міста є надійним та практичним рішенням для міських служб та комунальних підприємств, оскільки дозволяє точно виявляти проблемні зони з аномальними температурами, оперативно реагувати на зміни в системі теплопостачання та планувати енергоефективні заходи на основі детальних температурних карт міста, при цьому особлива цінність методу проявляється в кризових ситуаціях, коли традиційні методи моніторингу можуть бути недоступні або неефективні.

Список використаних джерел

1. Potential impacts of climate change on extreme precipitation over four African coastal cities. / Abiodun B та ін. *Climatic Change*, 2017. 399–413 с. URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2001-5>.
2. Identifying hotspots cities vulnerable to climate change in Pakistan under CMIP5 climate projections/ Ali S. та ін. *International Journal of Climatology*, 40(3). 2020. 1488-1502 с. <https://doi.org/10.1002/joc.6638>.
3. Understanding climate change from a global analysis of city analogues Bastin J. F., та ін. *PloS one*, 14(7), 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217592>
4. Living in a Regime of Energy Shortages: Spotlights From Lviv During the War. Błaszczuk M. та ін. 2024. *Sociological Research*. <https://doi.org/10.1177/13607804241240810>
5. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey /Danandeh Mehr та ін. *Hydrological Sciences Journal*, 2020. 65(2), 254-268. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691218>
6. Projections of the urban and intra-urban scale thermal effects of climate change in the 21st century for cities in the Carpathian Basin /Gál T. та ін. *Hungarian Geographical Bulletin*, 70(1). 2021. 15-30. <https://doi.org/10.15201/HUNGEOBULL.70.1.2>
7. Spatial and Multi-Temporal Analysis of Land Surface Temperature through Landsat 8 Images: Comparison of Algorithms in a Highly Polluted City (Granada). *Remote Sensing* /Hidalgo García D. Díaz J. 13(5), 2021 1012. <https://doi.org/10.3390/rs13051012>
8. Hofierka J. (2022). Assessing land surface temperature in urban areas using open-source geospatial tools. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-4-w1-2022-195-2022>.
9. José R. S., Perez J., González R. M., Pecci J., Garzon, A., & Palacios, M. (2016). Impacts of the 4.5 and 8.5 RCP global climate scenarios on urban meteorology and air quality: Application to Madrid, Antwerp, Milan, Helsinki and London. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 293, 192-207. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2015.04.024>
10. Khalaim, O., Zabarna, O., Kazantsev, T., Panas, I. D., & Polishchuk, O. (2021). Urban Green Infrastructure Inventory as a Key Prerequisite to Sustainable Cities in Ukraine under Extreme Heat Events. *Sciences*, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs14194793>
11. Khan, M. S., Ullah, S., & Chen, L. (2021). Comparison on Land-Use/Land-Cover Indices in

Explaining Land Surface Temperature Variations in the City of Beijing, China. *Land*, 10(10), 1018. <https://doi.org/10.3390/land10101018>

12. Kyzym, M., Khaustova, V., & Kotliarov, Y. (2023). Specifics of Economic Relations in the Thermal Power Industry of Ukraine. *System Research in Energy*.

13. Kyzym, M., Kotliarov, Y., & Khaustova, V. (2021). Analyzing the Centralized Heat Provision of Large Localities in Ukraine and Countries of the World. *System Research in Energy*.

14. Lu, C., Huang, G., Wang, X., & Liu, L. (2021). Ensemble projection of city-level temperature extremes with stepwise cluster analysis. *Journal of*

Climate, 34(15), 6401-6418. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0857.1>

15. Okuyan, C., Chupryna, N. M., & Chernysheva, O. (2024). Strategic expediency of using an innovative product in the restoration of the energy sector: the experience of Turkey. *Economic Herald of SHEI USUCT*. <https://doi.org/10.32434/2415-3974-2024-19-1-163-176>

16. Oleson, K., Anderson, G. B., Jones, B., McGinnis, S., & Sanderson, B. (2018). Avoided climate impacts of urban and rural heat and cold waves over the U.S. using large climate model ensembles for RCP8.5 and RCP4.5. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2287-y>

УДК 631.5

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-07>

ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЗОЛИ З СОЛОМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ТА ВНЕСЕНИХ ДОБРИВ

Вакал С. В.¹

^{1,2} Науково-дослідний інститут мінеральних добрив і пігментів
Сумський державний університет
вул. Харківська, п/в 12, м. Суми, 40003
s.vakal@mindip.sumdu.edu.ua

Шепета К. О.³

^{3,4} ТОВ «КРОП-ІНКРІС»
1-ий провулок Свободи, буд. 8, м. Ромни, 42000
kirilshepeta007@gmail.com

Вакал В. С.²*vsvakal@gmail.com***Ізмозденова Т. І.⁴***izmodenova.tati@gmail.com*

У зв'язку із зростанням цін на традиційні джерела енергій в світі – природного газу, нафти, кам'яного вугілля, актуальність відновлювальних джерел енергії суттєво зросла [1]. До джерел відновлювальної енергетики традиційно відносяться біопаливо з багаторічної деревини та пожнивних решток сільськогосподарських рослин.

За даними Державної служби статистики України кількість використаної деревини для генерації (переважно тепла) в 2020 році становила 7473096,3 тонн, що на 14,7% більше ніж в 2017 році. При цьому, для теплоутворення істотно збільшилося використання біопалива з пожнивних решток (солома, листя, лузга соняшника, відходи після перероблення рослинної сировини тощо) сільськогосподарських рослин. Так, у 2017 році для генерації тепла було спалено 119 0681 тонн твердого біопалива рослинного походження, а в 2020 рр., – 1707 861 тонн [2].

Після різкого зростання ціни на природний газ в 2021 році та з початком повномасштабної війни в Україні, споживання тепла від спалення біопалива істотно збільшилося.

Зокрема, значно зросло споживання біопалива з метою генерації тепла для сушіння зерна кукурудзи, соняшника, сої в сільськогосподарських підприємствах Сумської та Чернігівської областей. Так, відповідно наданих даних ТОВ «Кроп-Інкріс» (м. Ромни, Сумська область), в 2020 році до 65,4% клієнтів компанії сушили продукцію рослинництва спалюючи природний газ, 23,6% клієнтів комбінували газ і тверде паливо (деревина та солома), до 5,4% клієнтів використовували тільки мазут. Але в 2023 році ситуація кардинально змінилася. Нині газом користуються 34,1% клієнтів, комбінують газ з твердим паливом – 30,7%, деревину і солому – 29,5%, мазут використовують – 5,7% клієнтів.

При низьких цінах та утримання на таких рівнях на зерно кукурудзи, сої і соняшнику, кількість господарств що відмовилися від газового сушіння буде збільшуватися.

Через наявність значної кількості золи від спалення біопалива виникає питання щодо зберігання, транспортування, утилізації та подальшого використання.

Утилізація золи проводиться переважно, вивозом на поля. В цьому є раціональне зерно, оскільки зола культурних однорічних рослин має підвищений вміст фосфору, калію та сірки. Через високий вміст в золі лужних структуруючих елементів таких як, кальцій і магній, внесення золи в ґрунт є ефективним заходом для відтворення родючості, особливо для нейтралізації кислих ґрунтів [3].

Золу з високим вмістом калію і фосфору також можливо також розглядати як сировину для виробництва комплексних добрив [4]. При цьому, актуальність використання золи збагаченої калієм та фосфором для виробництва добрив висока. Дещо змінився асортимент фосфорних та калійних добрив, відповідно зросла їхня вартість [5].

Дослідження вказують про існування вагомих відмінностей щодо складу хімічних елементів в золі біопалива залежно від його виду (деревина або рештки однорічних рослин) та видового складу рослинних решток (однорічні злакові або двосім'ядольні культурні рослини). При цьому, виявлені значні варіювання вмісту окремих біогенних хімічних елементів в золі від спалення рослинних решток одного виду рослин [6].

В попередніх дослідженнях виявлялися зразки золи з досить високим вмістом біогенних хімічних елементів для рослин, а саме фосфору, калію та сірки. В зв'язку з цим, у авторів виникла необхідність дослідити генезис формування хімічного складу золи однорічних культурних рослин на прикладі соломи озимої пшениці.

Такі дослідження виявляють інтерес через перспективність використання золи від спалення решток культурних рослин з високим вмістом фосфору, калію та сірки для виробництва комплексних добрив.

Авторами досліджувалися вплив ґрунту, внесення добрив, агротехнічних елементів технологій вирощування на вміст хімічних елементів в тканинах рослин та в золі соломи озимої пшениці.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, біопаливо, солома, деревина, лузга сояшника, перероблення, рослинної сировини.

Changes in the chemical structure of ash derived from winter wheat straw as influenced by soil fertility and applied fertilizers. Vakal S. V., Shepeta K. O., Vakal V. S., Izmodenova T. I.

The rising costs of traditional fuels have led to increasing scientific and practical interest in renewable energy sources, which traditionally include biofuels derived from perennial wood and crop residues.

Between 2017 and 2020, the amount of wood and crop residues burned for energy generation, mainly in the form of heat, increased by 14.7% and 43.4%, respectively, in Ukraine. The authors of this article have determined that, due to the ongoing war, the shift towards biofuels is expected to accelerate significantly.

The increased production of ash from biofuel combustion in agricultural enterprises has highlighted the need for effective management, storage, transportation, and utilization of combustion products. Given the variability in ash composition, developing recommendations for its more rational use as a raw material in complex fertilizer production technologies is highly relevant.

It has been established that the content of chemical elements in plant residues and ash depends not only on biogenic factors (such as whether the plants are monocotyledonous or dicotyledonous, annual or perennial) but also on soil fertility parameters and applied fertilizers.

Among other soil fertility indicators, the sum of absorbed bases ($\text{CaO} + \text{MgO}$) was found to influence the accumulation of magnesium and phosphorus in plants and their resulting ash. The sulfur and potassium content in wheat straw ash increased when winter wheat was grown in soils enriched with mobile forms of these nutrients.

The application of sulfur fertilizers in the form of sulfates increased the sulfur, phosphorus, and potassium content in the ash. It was also found that excessive use of sulfate fertilizers led to a decrease in the proportion of magnesium in plant residues and ash.

Phosphorus fertilizers, regardless of whether they were citrate-soluble or water-soluble, effectively increased the phosphorus and potassium content in the ash from burned winter wheat residues. Potassium fertilizers contributed to the accumulation of potassium in both plant residues and their resulting ash upon combustion.

The results of these studies convincingly demonstrate that the genesis of the chemical composition of ash from biofuel combustion has not only a biogenic nature but also lithogenic and agrochemical origins.

The study results and their statistical analysis are useful for developing a predictive model of the chemical composition of ash from biofuel combustion and for planning its utilization or use in complex fertilizer production.

Keywords: renewable energy sources, biofuel, straw, wood, sunflower husk, processing, plant raw materials.

Методика і матеріали досліджень

Робота проводилася в лабораторії ТОВ «Кроп-Інкрис» та Науково-дослідному інституті мінеральних добрив і пігментів (структурний підрозділ Сумського державного університету). Відбір соломи сільськогосподарських культур для досліджень, проводили в господарствах Сумської та Чернігівської областей під час жнив.

Під час відбору зразків на полях, аналізувалась інформація щодо особливостей технологій вирощування культур (сівозміни, строки посіву, системи удобрення, агрохімічні властивості ґрунтів тощо). Дані кліматичних умов щодо формування рослин озимої пшениці у 2020–2022 рр., було отримано з електронних ресурсів [7].

Відбір соломи для спалення проводили в посівах озимої пшениці, що вирощувалася на дернових, дерново-опідзолених, сірих лісних, чорноземних опідзолених та типових ґрунтах.

В господарствах де проводили відбір рослинного матеріалу на визначення зольності і вмісту хімічних елементів в золі озимої пшениці аналізували фізико-механічні і хімічні властивості ґрунтів, на вміст в них азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення згідно Агрохімічних паспортів полів, земельних ділянок виданих господарствам філіями ДУ «Держґрунтоохорона» (період 2017–2020 рр.).

Загалом за період 2021–2022 рр., було відібрано 102 зразки соломи озимої пшениці.

Після отримання зразків соломи, рослинний матеріал ретельно очищували від залишків ґрунтоутворюючих порід (кварцу, польових шпатів, суглинистих часток з високим вмістом карбонату кальцію тощо) методом струшування. А сильно забруднені зразки промивали та підсушували. Далі подрібнювали на відрізки розміром 1–3 см. Методом квартування створювали середні про-

би, маса кожної проби не менше 100 грам. Середні проби рослинного матеріалу сушили при температурі 60–65°C до повітряно-сухого стану. Після сушіння пробу мололи на лабораторному млині та просіювали через сито. Мелені рослинні зразки озолювали у муфільній печі при температурі 800±25°C. Визначали питому вагу золи, її зольність та рН 1% розчинів золи.

Лабораторні дослідження на вміст елементів в золі проводили із застосуванням різних методів аналізу: фотометричного, гравіметричного, комплексонометричного, турбідиметричного та потенціометричного.

Групування отриманих зразків золи після хімічного аналізу здійснювали залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування озимої пшениці, кількості внесених добрив та ключових елементів технологій. Отримані результати фізико-хімічних властивостей золоматеріалів за кожним показником статистично опрацьовувались. Також визначались середні, мінімальні та максимальні значення фізико-хімічних показників і вмісту хімічних елементів для обчислення інтервалів варіювання отриманих значень показників проводили обчислення середніх квадратичних відхилень для генеральних вибірок та помилок середніх арифметичних для груп в межах генерального параметрів. Для виявлення впливу факторів на формування хімічного складу в золі проводили також дисперсійні, кореляційні та регресійні аналізи відповідно загально визнаних методів статистичного аналізу [8].

Результати досліджень та їх обговорення

Зола соломи озимої пшениці, яку отримували в умовах лабораторного спалення, являє собою пилоподібний залишок від сірого до біло-сірого кольору. Залишок від спалення соломи озимої пшениці мав питому вагу від 0,106 до 0,402 кг/м³. Розчини золи у воді мали високу лужну реакцію. Так, показники рН варіювали в межах 11,40–11,91.

Елементний склад золи соломи озимої пшениці був представлений переважно кальцієм, магнієм, калієм, фосфором та сіркою у вигляді оксидів, гідроксидів, солей, кристалогідратів та комплексних сполук (табл. 1). Вміст інших елементів не перевищував 1,0%.

Найбільшою питома вага в золі у роки досліджень була в калію. Так, в зразках золи його вміст в перерахунку на K_2O в середньому, у 2021 році складав 30,18%, а в 2022 році – 29,07%. Коефіцієнт варіації вмісту калію був середнім і не перевищував 21,80%.

Значно менше в золі виявляли інші біогенні макроелементи – сірка, магній, фосфор та кальцій. При цьому, коефіцієнти варіації вмісту згаданих елементів були значними та перевищували 33,26%, що вказує на існування значного впливу певних ключових факторів на вміст в золі сірки, магнію, фосфору і кальцію та генезис хімічного складу золи рослинного походження (табл. 1).

Перед дослідженням генезису хімічного складу та визначення ключових факторів впливу на формування хімічного складу золи соломи озимої пшениці, авторами були проведені кореляційні аналізи залежності вмісту одних елементів від інших (табл. 2).

Показники коефіцієнтів регресії між вмістом кальцію і магнієм, кальцію і калію та кальцію і фосфору в золі були в роки досліджень в межах від $r = -0,156$ до $r = 0,134$, що вказує про відсутність вірогідного зв'язку між цими хімічними елемен-

тами в процесі формування рослин озимої пшениці та після їх спалювання – золи. Отже варіювання показників питомих ваг кальцію було незалежним від вмісту калію і фосфору в золі.

Проте, виявлено стійкий в усі роки досліджень вірогідний негативний зв'язок між вмістом кальцію і сірки. Збільшення сірки в золі супроводжувалося зменшенням питомих ваг не тільки кальцію, але і магнію. Так, коефіцієнт кореляції між вмістом сірки і кальцієм в 2021 році становив $r = -0,369$, в 2022 році – $r = -0,340$, між сіркою і магнієм в 2021 і 2022 роках відповідно – $r = -0,303$ і $-0,348$.

Питома вага марганцю в золі також зменшувалася за рахунок збільшення вмісту калію і фосфору в усі роки проведення досліджень. Так, коефіцієнти кореляції між вмістом в золі марганцю і калію та марганцю і фосфору мали статистично вірогідні негативні значення.

Під час вивчення хімічної структури золи встановлено і позитивний зв'язок між вмістом калію і фосфором (табл. 2). Здебільшого, зразки золи з соломи з високим вмістом калію і фосфору були отримані після відбору рослинних решток озимої пшениці вирощеної на високих агрофонах

Таблиця 1

Хімічний склад золи соломи озимої пшениці

Хімічний елемент	Вміст основних хімічних елементів, %			Середнє квадратичне відхилення, %	Коефіцієнт варіації, %
	середнє	min.	max.		
2021 рік					
CaO	8,04	2,49	14,41	2,67	33,26
MgO	3,19	0,61	7,12	1,41	44,31
K ₂ O	30,18	12,05	42,38	6,25	20,71
P ₂ O ₅	9,21	3,75	16,25	3,06	33,24
SO ₃	7,67	1,11	18,52	4,07	53,02
2022 рік					
CaO	8,11	3,21	15,55	2,65	32,63
MgO	3,82	0,61	8,35	1,70	51,21
K ₂ O	29,07	11,15	42,92	6,34	21,80
P ₂ O ₅	7,71	4,17	16,25	2,50	32,42
SO ₃	4,84	1,48	10,89	3,01	62,18

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції (r) між хімічними елементами в золі соломи озимої пшениці

Хімічний елемент	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
2021 рік					
CaO	1,000	-	-	-	-
MgO	0,134	1,000	-	-	-
K ₂ O	-0,156	-0,355*	1,000	-	-
P ₂ O ₅	-0,060	-0,351*	0,321*	1,000	-
SO ₃	-0,369*	-0,303	0,093	0,281	1,000
2022 рік					
CaO	1,000	-	-	-	-
MgO	0,067	1,000	-	-	-
K ₂ O	-0,193	-0,377*	1,000	-	-
P ₂ O ₅	0,033	-0,380*	0,318*	1,000	-
SO ₃	-0,340*	-0,348*	0,048	-0,022	1,000

Примітка: * - коефіцієнти варіації статистично вірогідні на 1% рівні значимості ($0,001 < P < 0,01$).

з дотриманням технології вирощування та систем удобрення. Роль родючості ґрунту та добрив на вміст фосфору і калію в золі висвітлено в даній статті.

Збір додаткової інформації про ґрунтово-кліматичні умови вирощування, агротехніки та систем удобрення де проводили відбір зразків дозволив провести аналіз та виявити фактори впливу на формування структури хімічних елементів в рослинних рештках і золі озимої пшениці.

Кліматичні умови вегетації озимої пшениці в 2021–2022 роки, за температурними показниками були оптимальними та майже не відрізнялися від середньорічних. Проте, за кількістю доступної води для росту і розвитку рослин та формування урожайності озимої пшениці 2021 рік був дещо посушливішим ніж 2022 рік. Так, коефіцієнт вологозабезпеченості (визначається діленням доступної у ґрунті води і опадів на випарування) в 2021 році, залежно від ґрунтово-кліматичних зон Сумської і Чернігівської областей, становив від 0,81 до 1,03, а в 2022 році – від 1,16 до 1,38. Не зважаючи на більш сприятливі гідротермічні умови вегетації у 2022 році, середньозважена

урожайність озимої пшениці в господарствах відбору зразків соломи була майже на рівні 2021 року. Так, урожайність в 2021 році становила $58,04 \pm 5,78$ ц/га, в 2022 році – $55,97 \pm 5,54$ ц/га. Причина цього – зменшення кількості використання добрив при вирощуванні озимої пшениці.

В господарствах у 2021 році солону, зокрема, збирали в кількості $6,20 \pm 0,66$ т/га, в 2022 році – $6,05 \pm 0,6$ т/га. При середній зольності соломи 5,55%, потенціальний вихід золоматеріалів від спалювання соломи озимої пшениці в роки досліджень був межах 0,300 – 0,377 т/га.

Після збирання зразків рослинних решток, їх спалення, визначення фізико-хімічних властивостей та встановлення з місць відбору біоматеріалу показників фактичної урожайності зерна і соломи, авторами статті були створені масиви вихідних даних. Наступне групування яких, дозволило провести чисельні дисперсійні, кореляційні та регресійні аналізи. За результатами статистичних обчислень було виявлено, що кліматичні умови вегетації (температура та вологозабезпеченість), ключові елементи агротехніки (попередник, строки, густота посіву) та сорти

більше впливали на кількість біомаси з якої формувався урожай зерна і соломи, ніж на зольність соломи та хімічну структуру золи.

Проте, на генезис хімічного складу рослинних решток і золи встановлено статистично вірогідну роль родючості ґрунту та добрив.

Кальцій. При аналізі золи після спалення соломи озимої пшениці встановлено, що в усі роки досліджень переважали зразки з вмістом кальцію в них $7,1 \pm 0,58\%$. Так, в 2021 році таких було 52,9%, в 2022 році – 50,5% зразків (рис. 1).

водився в умовах вирощування озимої пшениці на ґрунтах з широким діапазоном від 8 до 24,5 мг-екв/100 г ґрунту суми увібраних основ ($\text{CaO} + \text{MgO}$), для цих типів ґрунтів з переважанням в 2-10 разів катіонів кальцію, не було встановлено статистично вірогідних зав'язків між вмістом в золі кальцію з кількістю обмінних катіонів кальцію і магнію в ґрунті.

Кореляційні аналізи не виявили статистично вірогідних зав'язків між вмістом в рослинних рештках і золі кальцію від кількості в ґрунтах,

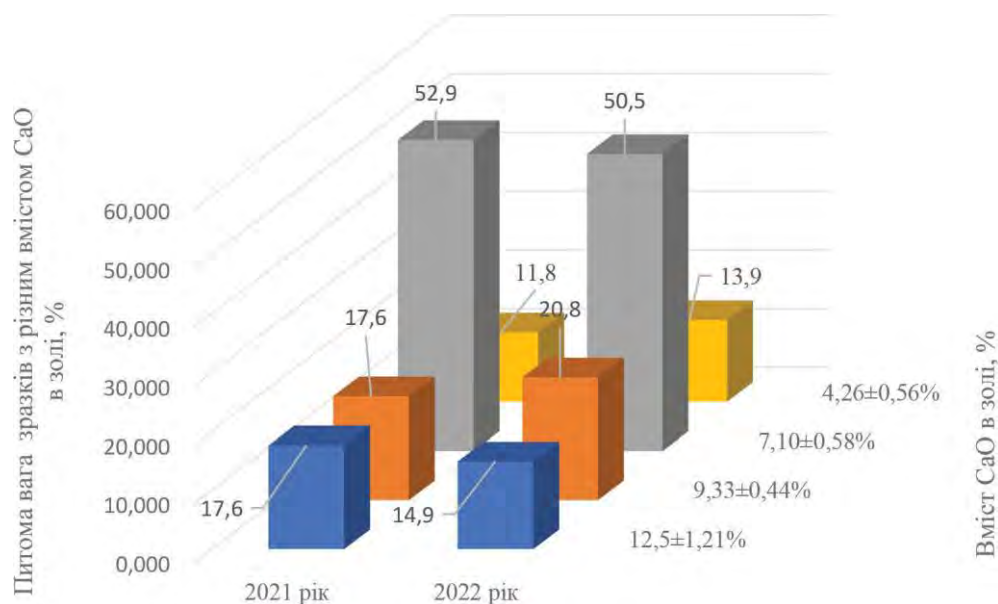


Рисунок 1. Структура зразків золи соломи озимої пшениці за вмістом CaO

До групи з найменшим вмістом кальцію у вигляді CaO $4,2 \pm 0,56\%$ в 2021 році відносились 11,8%, в 2022 році – 13,9% зразків.

Групи зразків за вмістом CaO $12,5 \pm 1,21\%$ та $9,33 \pm 0,44\%$ були дещо численнішими в усі роки досліджень. Проте, питома вага їх в генеральній виборці не перевищувала 20,8 % (рис. 1).

При цьому, в усі роки коефіцієнти варіації вмісту кальцію в золі були значними та становили в 2021 році – 32,63%, в 2022 році – 33,26%.

В зв'язку з тим, що варіювання показників вмісту кальцію в золі було високим, авторами була зроблена спроба виявити фактори впливу на накопичення кальцію в рослинних рештках.

Проте, незважаючи на те, що збір зразків рослинного матеріалу перед їх озоленням про-

на яких проводили збір рослинного матеріалу озимої пшениці рухомих форм фосфору, калію та сірки.

При цьому, вміст кальцію в рослинних рештках мав завжди від оптимально до профіцитного значення для росту і розвитку рослин озимої пшениці незалежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування, агротехніки, внесення різних за вмістом добрив та їх кількостей.

Отже, накопичення кальцію в рослинах відбувається упродовж вегетації, в якості джерела кальцію є ґрунт.

Незалежно від вмісту кальцію в ґрунті, його було достатньо для поглинання коренями, накопичення рослинами та формування продуктивності озимої пшениці.

Відтак, можна визнати, що генезис накопичення в рослинах озимої пшениці, а потім і в золі кальцію, в даному випадку має біолітну природу.

Магній. Коефіцієнти варіації вмісту магнію в золі соломи озимої пшениці, на відміну від калію, мали ще більші показники. Так, в 2021 році коефіцієнт варіації питомої ваги магнію в перерахунку на MgO становив 44,31%, в 2022 році від був ще більшим – 51,21% (табл. 1).

В структурі зразків золи за вмістом магнію в усі роки досліджень переважали групи з питомою вагою MgO $3,23 \pm 0,30$ та $2,20 \pm 0,20\%$ (рис. 2).

В 2021 році хімічний аналіз виявляв відповідно 33,33 і 35,29%, в 2022 році – 30,69 і 36,63% зразків з цими показниками вмісту оксиду магнію в золі (рис. 2).

Кількість його внесення в цьому році залежно від господарства становила від 0 до 150 кг/га, при середньозваженій нормі 80,3 кг/га. В перерахунку на SO₃ – від 0 до 90,7 кг/га, при середньозваженій нормі 48,6 кг/га.

Обчислений коефіцієнт кореляції між кількістю внесених сірчаних добрив і вмістом магнію в золі в 2021 році був негативним і статистично вірогідним та мав значення $r = -0,533$, за регресійною моделлю при внесенні 10 кг/га сірки в перерахунку на SO₃ в міст магнію у вигляді MgO зменшувався на 0,27% (табл. 3).

Вплив азотно-сірчаного добрива на накопичення в біомасі магнію, а потім прояв в золі, є опосередкованим. Він проявляється через біоло-

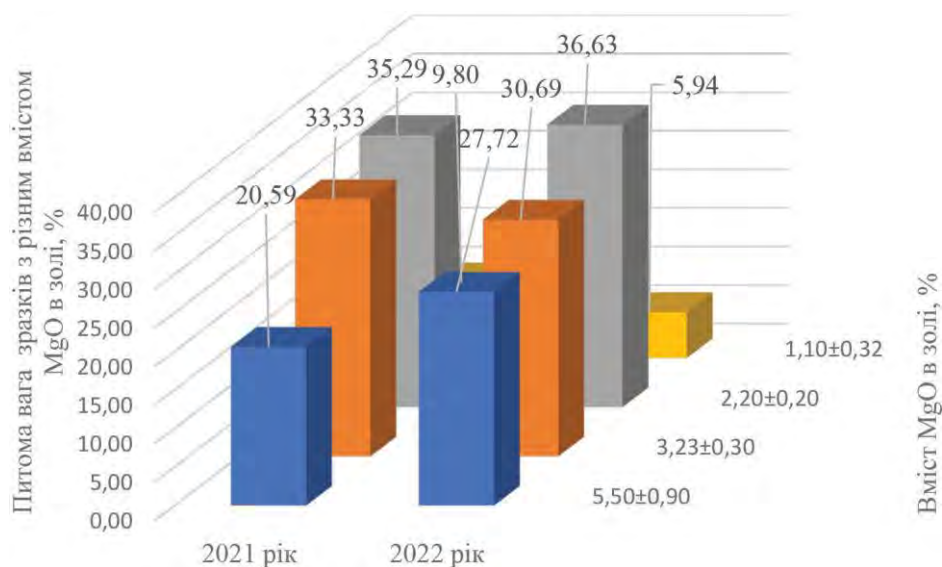


Рисунок 2. Структура зразків золи соломи озимої пшениці за вмістом MgO

При проведенні кореляційних аналізів для виявлення зв'язків між вмістом в золі магнію та в ґрунті суми увібраних основ (CaO + MgO), рухомих форм фосфору, калію, сірки і внесенням добрив (різних форм азоту, фосфору, калію, сірки) встановлено, що на вміст магнію в 2021 році проявився вплив внесення сірчаних добрив, в 2022 році – вміст обмінних катіонів в ґрунті.

В період вегетації озимої пшениці 2021 року, в господарствах областей азотні добрива для підживлення використовували в широкому кількісному діапазоні. Для азотно-сірчаного добрива популярність сульфат амонію досить висока.

гічну денітрифікацію амонію з утворенням азотної і сірчаної кислоти у ґрунтовому розчині та через активну участь в обмінних реакціях сульфат аніонів з катіонами кальцію, магнію, калію і водню на межі ґрундово-поглинаючого комплексу і ґрунтового розчину, з наступним вивільненням аніонів гідроксиду та утворення гідроксиду магнію, який майже нерозчинний у воді. Таким чином, магній стає недоступним для поглинання коренями рослин. Проте, дефіциту необхідного магнію в рослинах озимої пшениці для формування продуктивності в роки дослідження, не виявлено.

Таблиця 3

**Вплив сірчаних добрив у сульфатній формі та суми увібраних основ (CaO + MgO)
на вміст магнію в золі соломи озимої пшениці**

Фактор впливу	Вміст магнію у вигляді MgO в золі, %		
	Коефіцієнт кореляції (r)	Коефіцієнт детермінації (сила впливу факторів) ($D = r^2 \times 100\%$)	Регресійне рівняння ($y = ax + b$)*
Сірчані добрива у формі сульфатів, в перерахунку на SO ₃ , кг/га	2021 рік		
	– 0,533**	28,4%	$y = -0,027x + 4,524$
	2022 рік		
	– 0,100	–	$y = -0,005x + 3,539$
Сума увібраних основ (CaO + MgO), мг-екв./100 г ґрунту	2021 рік		
	0,100	–	$y = 0,015x + 2,856$
	2022 рік		
	0,338**	11,4%	$y = 0,069x + 1,670$

Примітка: * - Регресійне рівняння $y = ax + b$, де y – статистично визначений вміст елементу в золі, x – значення фактору впливу;

** - значення коефіцієнту кореляції і регресійної моделі статистично вірогідні на 1% рівні значимості ($0,001 < P < 0,01$).

В 2022 році внаслідок війни кількість добрив для весняного підживлення озимої пшениці в господарствах значно скоротилося, середньозважена норма внесення сульфату амонію у фізичній вазі становила 64,4 кг/га, в перерахунку на SO₃ – 39 кг/га. Зі свого боку, зв'язок між внесенням сірчаних добрив і вмістом магнію в золі був статистично непідтвердженим (табл. 3).

Проте, в 2022 році проявився вплив суми увібраних основ (CaO + MgO) на накопичення в золі магнію. Коефіцієнт кореляції між показниками вмісту магнію і сумою увібраних основ в ґрунті був статистично вірогідним та становив $r = 0,338$, за регресійною моделлю, при збільшенні в ґрунті суми обмінних катіонів, зростає питома вага магнію у золі соломи озимої пшениці (табл. 3).

Як висновок, вміст магнію в рослинних залишках озимої пшениці та золі залежить від наявності рухомих форм магнію в ґрунті. При застосуванні підвищених норм сульфату амонію в якості добрива є ризики зменшення рівня рухомості магнію в ґрунті та обмеження його доступності для рослин. Проте, авторами не виявлено

дефіциту цього елементу в рослинах озимої пшениці.

Отже, встановлено, що генезис магнію в золі соломи має як біолітну так агрохімічну природу.

Сірка. При аналізі хімічного складу золи соломи виявляли до п'яти груп зразків за кількістю сірки в золі. Проте, залежно від року досліджень їх кількість змінювалася. Так, за умов використання високих кількостей сірчаних добрив в 2021 році зростав середній рівень вмісту сірки до $7,67 \pm 4,07\%$ в генеральній виборці (табл. 1) та виділялася група зразків з надзвичайно високим середнім вмістом сірки – $13,87 \pm 2,36\%$. Питома вага зразків з цієї групи становила 19,61%.

На фоні зменшення внесення сірчаних добрив в 2022 році основною була група зразків з середнім вмістом сірки $4,11 \pm 0,46\%$, з питомою вагою серед проаналізованих зразків – 39,60% (рис. 3).

Попри те, що в 2021 році використовували сірчані добрива у значних кількостях, вплив сірчаних добрив на збільшення вмісту сірки в рослинних рештках і золі проявлявся, але статистично був слабким. Це пояснюється тим, що

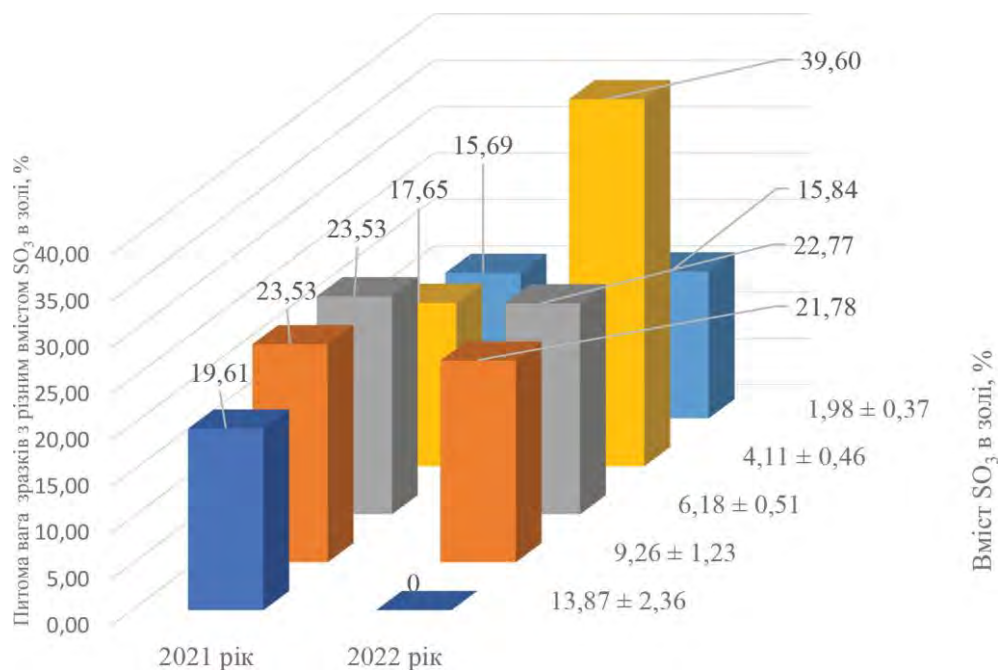


Рисунок 3. Структура зразків золи соломи озимої пшениці за вмістом SO₃

Таблиця 4

**Роль ґрунтової сірки та сірчаних добрив у сульфатній формі
у накопиченні сірки в золі соломи озимої пшениці**

Фактор впливу	Вміст сірки у вигляді SO ₃ в золі, %		
	Коефіцієнт кореляції (r)	Коефіцієнт детермінації (сила впливу факторів) (D = r ² x 100%)	Регресійне рівняння (y = ax + b)*
Вміст сірки в ґрунті, мг/кг ґрунту	2021 рік		
	0,323**	10,4%	y = 0,684x + 3,418
	2022 рік		
	0,176	—	y = 0,251x + 3,463
Сірчані добрива у формі сульфатів, в перерахунку на SO ₃ кг/га	2021 рік		
	0,085	—	y = 0,013x + 7,059
	2022 рік		
	0,372**	13,8%	y = 0,036x + 3,449

Примітка: * - Регресійне рівняння $y = ax + b$, де y – статистично визначений вміст елементу в золі, x – значення фактору впливу;

** - значення коефіцієнту кореляції і регресійної моделі статистично вірогідні на 1% рівні значимості (0,001 < P < 0,01).

в дослідних господарствах норми внесення сірчаних добрив були високими та наближеними до рекомендованих.

Натомість, в 2021 році виявлена роль ґрунтового фактору в накопиченні сірки в рослинних рештках та золі. Статистично доведений зв'язок

між вмістом сірки в ґрунті та золі спаленої соломи озимої пшениці. Так, коефіцієнт кореляції між цим показниками становив $r = 0,323$.

Роль сірчаних добрив в збільшенні вмісту сірки в рослинних залишків та золи вдалося встановити в 2022 році. Через часткове скорочення та відмову від застосування сульфату амонію в період вегетації озимої пшениці в цьому році виявлено тісний зв'язок між кількістю внесених сірчаних добрив та вмістом сірки в золі (табл. 4).

Отже, з високим рівнем достовірності, накопичення сірки в рослинних рештках і золі залежить від вмісту сірки в ґрунті та кількості внесених сірчаних добрив.

Вивчення хімічного складу в зразках рослинного матеріалу і золи соломи озимої пшениці фактично рівні вмісту сірки були досить високими, при проведенні перерахунків на біомасу рослинних решток – бездефіцитні.

Отримані результати свідчать, що генезис сірки, як і магнію в золі соломи також має як біолітну так і агрохімічну природу.

Фосфор. Розподіл зразків золи за вмістом фосфору в золі залежно від року досліджень кардинально відрізнявся. В 2021 році на тлі отримання більшістю господарств рекомендацій

стосовно внесення основних добрив виявляли 30,39% зразків з підвищеним вмістом фосфору (у виді P_2O_5 $12,68 \pm 1,79\%$) в золі. Внаслідок зростання цін в 2021 році на фосфорні добрива в більшості господарств норми внесення в ґрунт під озиму пшеницю, значно зменшили. Як результат, в 2022 році кількість зразків з низьким вмістом фосфору (у вигляді P_2O_5 $5,89 \pm 0,91\%$) була найбільшою – 55,45%.

При цьому, на відміну від інших основних хімічних компонентів в золі, фосфор у значній кількості зразків рослин був у дефіциті. Так, зразки золи саме з вмістом фосфору в перерахунку на P_2O_5 $5,89 \pm 0,91\%$ були отримані з соломи озимої пшениці вирощеної в умовах дефіциту (рис. 4).

Роль різних форм фосфорних і сірчаних добрив та родючості ґрунту в накопиченні фосфору в рослинних рештках і золі також вдалось виявити за допомогою кореляційного і регресійного методів статистичного аналізу.

В 2021 році після внесення повноцінних за вмістом фосфору (цитрат – і водорозчинних форм) та значно більш високих норм комплексу добрив під озиму пшеницю виявлено тісний зв'язок між кількістю внесеного цитраторозчинного фосфору і вмістом фосфору в золі.

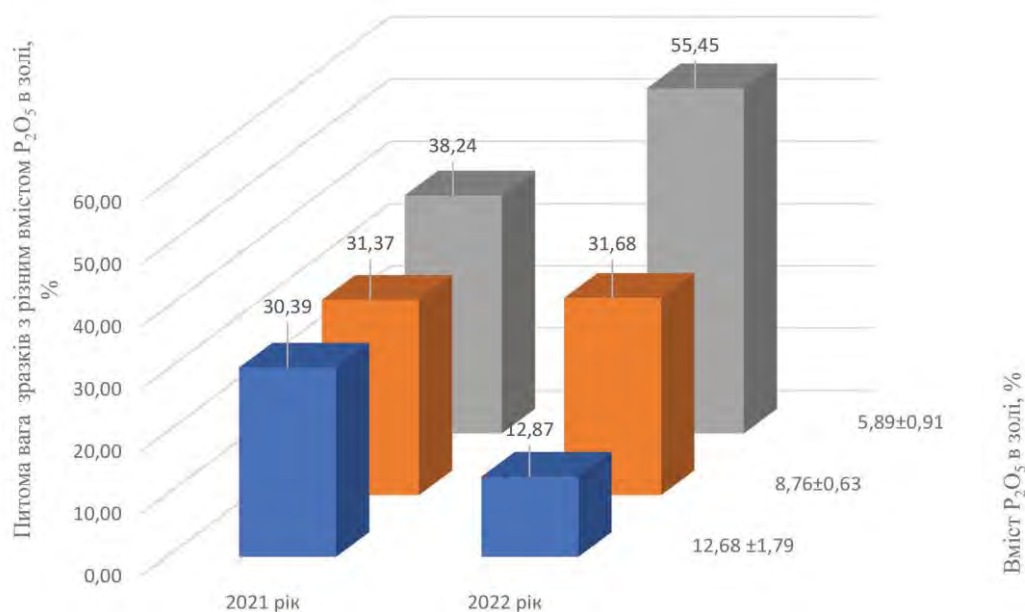


Рисунок 4. Структура зразків золи соломи озимої пшениці за вмістом P_2O_5

Таблиця 5

Вплив фосфорних і сірчаних добрив у сульфатній формі та суми увібраних основ (CaO + MgO) на вміст фосфору в золі озимої пшениці

Фактор впливу	Вміст фосфору у вигляді P ₂ O ₅ в золі, %		
	Коефіцієнт кореляції (r)	Коефіцієнт детермінації (сила впливу факторів) (D = r ² x 100%)	Регресійне рівняння (y = ax + b)*
Цитратні фосфорні добрива, в перерахунку на P ₂ O ₅ кг/га	2021 рік		
	0,369**	13,6%	y = 0,116x + 7,532
	2022 рік		
	- 0,203	—	y = - 0,089x + 8,593
Водорозчинні фосфорні добрива, в перерахунку на P ₂ O ₅ кг/га	2021 рік		
	0,065	—	y = 0,193x + 9,909
	2022 рік		
	0,333**	11,1%	y = 0,081x + 6,621
Сірчані добрива у формі сульфатів, в перерахунку на SO ₃ кг/га	2021 рік		
	0,374**	14,0%	y = 0,042x + 7,189
	2022 рік		
	0,122	—	y = 0,010x + 7,328
Сума увібраних основ (CaO + MgO), мг-екв./100 г ґрунту	2021 рік		
	- 0,374**	14,0%	y = -0,118x + 11,923
	2022 рік		
	- 0,378**	14,3%	y = -0,114x + 10,426

Примітка: * Регресійне рівняння $y = ax + b$, де y – статистично визначений вміст елементу в золі, x – значення фактору впливу;

** значення коефіцієнту кореляції і регресійної моделі статистично вірогідні на 1% рівні значимості ($0,001 < P < 0,01$).

Так, коефіцієнт кореляції між нормами внесення добрива і питомою вагою фосфору в золі становив $r = 0,369$, при силі впливу добрива – 13,6%.

На тлі високих норм застосування сірчаних добрив у формі сульфатів, в 2021 році встановлено вплив цих видів добрив на накопичення в рослинах і золі фосфору. Так, коефіцієнт кореляції між нормами внесення сірчаних добрив і вмістом фосфору в золі дорівнював $r = 0,374$, при значенні сили впливу фактору цього виду добрив – 14,0%. Ефективність сульфатної форми сірчаних добрив в накопиченні фосфору в рослинах пояснюється

властивостями цих добрив підкислювати ґрунтовий розчин та у такий спосіб підвищувати рухомість фосфору в ґрунті.

Значення водорозчинного фосфору в накопиченні золі фосфору виявили в 2022 році. В цьому році в господарствах, під озиму пшеницю норми внесення водорозчинного фосфору, на відміну від інших видів добрив, істотно не скоротили. Зв'язок між нормою внесення водорозчинної форми фосфору і питомою вагою в золі був тісним та статистично вірогідним, коефіцієнт кореляції дорівнював $r = 0,333$, при силі впливу – 11,1% (табл. 5).

Крім агрохімічних факторів, виявлено роль ґрунту на накопичення в рослинах та золі фосфору. Найбільш тісним в усі роки досліджень був зв'язок між сумою увібраних основ ($\text{CaO} + \text{MgO}$) в ґрунті та вмістом фосфору в золі. При цьому, зв'язок має стійку негативну залежність (в 2021 році коефіцієнт кореляції становив $r = -0,374$, в 2022 році $r = -0,378$). Причина – зниження рухомості фосфору через утворення нерозчинних солей ортофосфорної кислоти з кальцієм і магнієм при збільшенні суми основ (Ca^{+2} і Mg^{+2}) на межі ґрунтово - поглинаючого комплексу і ґрунтового розчину.

Відтак, на накопичення фосфору у рослинах і золи озимої пшениці найбільш ефективно впливали фосфорні (цитрат- і водорозчинні форми) та сульфатні форми сірчаних добрив.

На вміст фосфору в рослинах і потім в золі впливала концентрація основ ($\text{CaO} + \text{MgO}$) на межі ґрунтово–поглинаючого комплексу і ґрунтового розчину. При цьому, серед інших показників родючості ґрунту, саме сума увібраних основ мала найбільший вплив на поглинання та накопичення фосфору рослинами озимої пшениці.

Отже, генезис фосфору в золі соломи також має як біолітну, так агрохімічну природу.

Калій. В усіх досліджених зразках золи соломи кількість калію була найбільшою. Проте, питома вага калію в роки досліджень, в зразках золи була неоднаковою (табл. 1).

В умовах (2021 рік) внесення підвищених норм добрив, зокрема калійних, переважали зразки золи з високим (як K_2O $36,82 \pm 1,82\%$) і середнім (як K_2O $28,52 \pm 2,56\%$) вмістом. Так, питома вага зразків з високим і середнім вмістом відповідно становила 39,22 і 40,20%. При збільшенні кількості господарств (2020 рік), які зменшили норми або відмовилися від використання добрив, структура зразків за вмістом калію значно змінилася. В даних умовах переважали зразки з середнім вмістом калію – 63,37% (рис. 5).

При трансформації показників вмісту калію в золі в біомасу озимої пшениці, вміст калію в усіх зразках був бездефіцитним.

В усі роки досліджень на накопичення в рослинах та золі калію постійно визначали вплив родючості ґрунту. Найбільш тісним зв'язок виявляли між вмістом калію в ґрунті і золі соломи озимої пшениці. Так, коефіцієнти кореляції між вмістом калію в ґрунті і золі соломи в 2021–2022 рр., становили відповідно $r = 0,365$ і $r = 0,318$, при силі впливу фактору – 13,3 і 10,1% (рис. 5).

Внесення добрив є високоефективним агрохімічним заходом в регулюванні кількості калію в рослинах та золі після їх спалення.

Ефективність застосування цитраторозчинних фосфорних, калійних і сірчаних, у формі сульфатів добрив на накопичення калію рослинами озимої пшениці виявився завдяки більш системному застосуванню добрив у 2021 році.

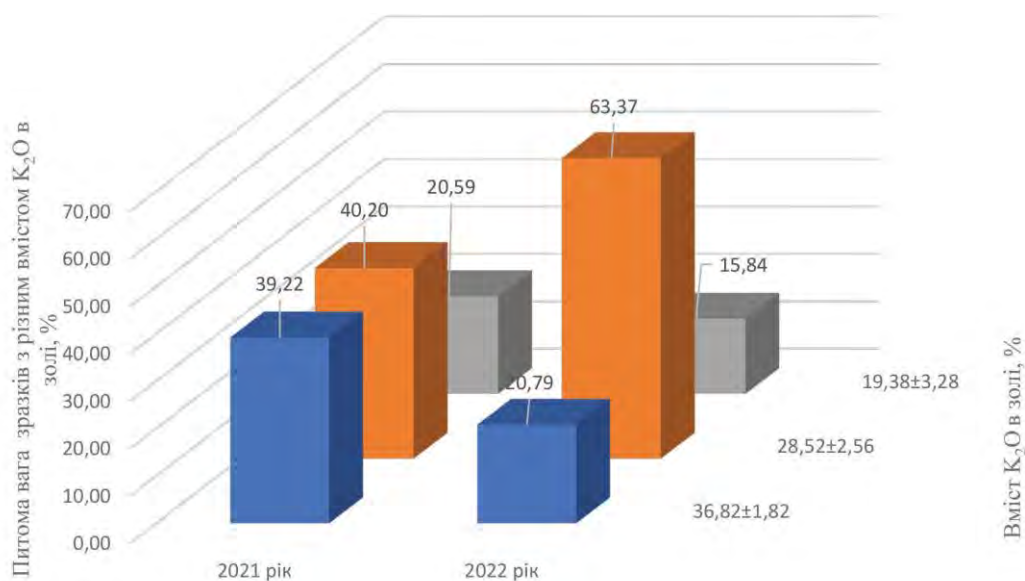


Рисунок 5. Структура зразків золи соломи озимої пшениці за вмістом K_2O

За результатами кореляційних аналізів зв'язки між застосуванням цих видів добрив і вмістом калію в золі були статистично вірогідними. Так, коефіцієнти кореляції між вмістом фосфору в золі та нормами внесення цитраторозчинних фосфорних, калійних і сірчаних у формі сульфатів добрив відповідно становили $r = 0,503$, $r = 0,371$ і

$r = 0,349$, при силі впливу факторів – 25,3%, 13,8% та 12,2%.

В 2022 році за умов зменшення об'ємів внесення добрив, при збереженні норм внесення водорозчинних форм фосфорних добрив вдалося встановити вплив водорозчинного фосфору на накопичення фосфору в рослинах і золі.

Таблиця 6

Вплив добрив та ґрунтового калію на вміст калію в золі озимої пшениці

Фактор впливу	Вміст калію у вигляді K_2O в золі, %		
	Коефіцієнт кореляції (r)	Коефіцієнт детермінації (сила впливу факторів) ($D = r^2 \times 100\%$)	Регресійне рівняння ($y = ax + b$)*
Вміст калію в ґрунті, K_2O мг/кг ґрунту	2021 рік		
	0,365**	13,3%	$y = 0,071x + 23,802$
	2022 рік		
	0,318**	10,1%	$y = 0,048x + 24,340$
Цитратні фосфорні добрива, в перерахунку на P_2O_5 , кг/га	2021 рік		
	0,503**	25,3%	$y = 0,321x + 25,509$
	2022 рік		
	-0,099	—	$y = -0,333x + 32,382$
Водорозчинні фосфорні добрива, в перерахунку на P_2O_5 , кг/га	2021 рік		
	0,006	—	$y = -0,004x + 30,228$
	2022 рік		
	0,309**	9,5%	$y = 0,271x + 25,425$
Калійні добрива, в перерахунку на K_2O , кг/га	2021 рік		
	0,371**	13,8%	$y = 0,181x + 25,112$
	2022 рік		
	-0,082	—	$y = -0,051x + 30,452$
Сірчані добрива у формі сульфатів, в перерахунку на SO_3 кг/га	2021 рік		
	0,349**	12,2%	$y = 0,070x + 26,798$
	2022 рік		
	-0,075	—	$y = -0,015x + 29,664$

Примітка: * - Регресійне рівняння $y = ax + b$, де y – статистично визначений вміст елементу в золі, x – значення фактору впливу;

** - значення коефіцієнту кореляції і регресійної моделі статистично вірогідні на 1% рівні значимості ($0,001 < P < 0,01$).

Так, коефіцієнт кореляції між вмістом фосфору в золі і нормами водорозчинного добрива становив $r = 0,309$, при силі впливу фактору – 9,5%.

Отже, на накопичення калію в рослинах і золі після їх спалення в роки дослідження виявляли вплив вмісту калію в ґрунті, значимість цитрато- і водорозчинних форм фосфорних, калійних і сірчаних, у формі сульфатів, проявлялася при дотриманні систем удобрення озимої пшениці (табл. 6).

Результати проведених досліджень свідчать, що генезис накопичення калію в рослинах озимої пшениці має біолітно – агрохімічну природу.

Висновки

1. Подорожчання традиційних видів палива призвело до зростання наукового і практичного інтересу до джерел відновлювальної енергетики. До джерел відновлюваної енергетики традиційно відноситься біопаливо з багаторічної деревини та пожнивних решток сільськогосподарських рослин.

2. Кількість спаленої деревини і пожнивних решток в Україні для генерування енергії, переважно у вигляді тепла, з 2017 по 2020 рік збільшилася відповідно на 14,7 та 43,4%. У зв'язку з військовими діями, динаміка переходу на біопаливо значно пришвидшиться.

3. Збільшення кількості золи від спалення біопалива в господарствах актуалізувало питання щодо поводження, зберігання, транспортування, утилізації продуктів горіння. В зв'язку з різноманітністю золи, актуальним є розроблення рекомендацій у більш раціональному використанні золи, як сировини в технологіях виробництва комплексних добрив.

4 Для прогнозування та отримання золи з високими показниками вмісту важливих для виробництва комплексних добрив фосфору, калію

і сірки важливо знати природу накопичення цих біогенних елементів живлення в рослинах і золі після їх спалення. Перспективним є виявлення ключових факторів впливу на формування хімічного складу золи біопалива.

5. Встановлено, що вміст хімічних елементів в рослинних рештках і золі з них залежить, крім біогенного (належність до одно- або двосім'ядольних, до одно- або багаторічних рослин) фактору, від показників родючості ґрунту та внесених добрив.

6. Серед показників родючості ґрунту виявлено вплив суми увібраних основ ($\text{CaO} + \text{MgO}$) на накопичення магнію та фосфору в рослинах і золі з них. Показники вмісту сірки та калію в золі соломи збільшувалися при вирощуванні озимої пшениці на ґрунтах збагачених рухомими формами цих елементів живлення.

7. Внесенням сірчаних добрив у формі сульфатів, вдавалося підвищувати вміст в золі сірки, фосфору та калію. Було виявлено зменшення питомої ваги магнію в рослинних рештках і золі на фоні надмірних норм застосування сульфатних добрив.

8. Фосфорні добрива, незалежно від цитрато- та водорозчинних форм, виявилися ефективними у збільшенні вмісту фосфору і калію в золі від спалення решток озимої пшениці.

9. Ефективність калійних добрив позначилося в накопиченні калію в рослинних рештках і в золі при їх спаленні.

10. Отримані результати проведених досліджень переконливо показують, що генезис структури хімічного складу золи від спалення біопалива крім біогенної, має літичну і агрохімічну природу походження.

11. Результати досліджень та їх статистична обробка є корисними для створення моделі прогнозування вмісту хімічних елементів в золі від спалення біопалива та складання планів щодо шляхів її утилізації або використання при виробництві складних добрив.

Список використаних джерел

1. Білявський М. Орієнтири розвитку альтернативної енергетики України до 2030 р.. [Електронний ресурс] / Максим Білявський – Режим доступу до ресурсу: <https://razumkov.org.ua/statti/oriientyry-rozvytku-alternatyvnoi-energetyky-ukrainy-do-2030r>.
2. Державна Служба Статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Методичні вказівки з охорони ґрунтів / В. О. Греков, Л. В. Дацько, В. А. Жилкін, М. І. Майстренко. – Київ, 2011. – 108 с.
4. Крамар В. Г. Обґрунтування напрямів утилізації золи від спалювання біомаси. Зола біомаси як добриво в сільському господарстві. [Електронний ресурс] / В. Г. Крамар // Аналітична записка UABIO № 27. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/12/AZ_Kramar_Zastosuvannya-zoly-biomasy-yak-dobryva_fin_ukr2.pdf.
5. Арестархов О. Як гриби після дощу, або Чому ростуть ціни на добрива? Позиція Остхем. [Електронний ресурс] / О. Арестархов // <https://latifundist.com/>. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://latifundist.com/blog/read/3022-yak-gribi-pislya-doshchu-abo-chomu-zrosli-tsini-na-dobryva>.
6. Hurets L., Izmodenova T., Vakal V., Vakal S., Malovanyu M. Utilization of Renewable Energy Waste (Wood Ash and Straw) in the Production of Mineral Fertilizers. Ecological Engineering / Poland, 2024, 25(4), 332–339 p.
7. Foreign Agricultural Service. U.S. Department of Agriculture. <https://ipad.fas.usda.gov/>
8. Супрунович С. В. Статистичні та хемометричні методи в хімії: навч. посіб./ С. В. Супрунович, Ж. О. Кормош, Н. Ю. Сливка. – Луцьк: Вид-во ВНУ ім. Лесі Українки, 2022. – 210 с.

УДК 504.06:631.41:662.75

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-08>

ОЦІНКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ У ЗОНІ ВПЛИВУ БАЗ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОКИСЛЮВАЧІВ

Коцюбинський А. О., Грицуляк Г. М.,
Яцишин Т. М., Линник Д. О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

Забруднення ґрунтів на територіях, де відбувається зберігання ракетних окислювачів та нафтопродуктів є серйозною екологічною проблемою, оскільки ці хімічні сполуки мають тривалий негативний вплив на навколишнє середовище. Особливо це відноситься до військових баз, на яких здійснювалося зберігання таких матеріалів, адже у випадку аварій, витоків або неналежного зберігання можуть виникати негативні екологічні та соціальні наслідки.

У статті розглядається проблема забруднення ґрунтів внаслідок зберігання ракетних окислювачів та нафтопродуктів на військових базах. У статті проведено оцінку вмісту хімічних речовин у ґрунті навколо колишньої бази довготривалого зберігання військової техніки та стратегічних ракетноносіїв. Оцінено потенційні ризики для біосистем та здоров'я людей, а також визначено необхідність моніторингу забруднених земель. Після розпаду Радянського Союзу дослідницька база була ліквідована, але деякі компоненти ракетного палива продовжували зберігатися і поступово (протягом декількох років) знешкоджувалися.

Аналіз ґрунту проводився за допомогою рентген флуоресцентного аналізу. Дослідження проводили за допомогою прецизійного рентген флуоресцентного аналізатора EXPERT 3L. Було проаналізовано вплив токсичних речовин на хімічний склад ґрунтів у межах 100, 250 та 1000 метрів від території бази. Під час досліджень було встановлено, що ґрунти містять значну кількість небезпечних хімічних елементів, та-

ких як: марганець, ванадій, хром та сірка. Виявлено значне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для кількох хімічних елементів.

З часом ці хімічні елементи можуть проникати у водні ресурси, що створить потенційну небезпеку для здоров'я людей та тварин, які мешкають на цій території. Забруднення ґрунту є значним лише на невеликій відстані від військової бази.

Ключові слова: забруднення ґрунту, нафтопродукти, важкі метали, нафтове забруднення, ракетне паливо, ракетні окислювачі.

Assessment of soil chemical composition in the impact zone of fuel and oxidizer storage bases. Kotsiubynskyi A., Hrytsulyak H., Yatsyshyn T., Lynnyk D.

Soil contamination in areas where rocket oxidizers and petroleum products are stored presents a serious environmental issue, as these chemicals can have long-lasting negative effects on the environment. This problem is particularly concerning at military bases, where such materials are commonly kept. Accidents, leaks, or improper storage can lead to severe environmental and social consequences.

This article addresses the issue of soil contamination resulting from the storage of rocket oxidizers and petroleum products at military bases.

The paper evaluates the chemical content in the soil surrounding a former long-term storage base for military equipment and strategic missile

launchers. It assesses potential risks to biosystems and human health while emphasizing the need for ongoing monitoring of contaminated land. After the collapse of the Soviet Union, the research base was shut down, but rocket fuel components continued to be stored and were gradually neutralized over the course of several years.

The soil was analyzed using X-ray fluorescence (XRF) analysis in a pure helium atmosphere, utilizing the precision X-ray fluorescence analyzer EXPERT 3L. The study focused on soils within 100, 250, and 1000 meters of the base to analyze the impact of toxic substances on their chemical composition. The results revealed significant levels of hazardous chemicals, including manganese, vanadium, chromium, and sulfur.

For several chemical elements, the concentrations exceeded the maximum permissible levels (MPCs). Over time, these chemicals can leach into water resources, posing potential health risks to people and animals in the area. Soil contamination was found to be most significant within a short distance of the military base.

Keywords: soil pollution, petroleum products, heavy metals, oil pollution, rocket fuel, rocket oxidizers.

Постановка проблеми

Актуальним питанням сьогодення є збереження екологічної рівноваги біосфери як глобальної екосистеми. Забруднення ґрунтів веде до зміни та забруднення повітря, підземних, поверхневих вод в результаті фізичних процесів вивітрювання небезпечних сполук.

З ґрунту токсичні речовини накопичуються в рослинах і далі поширюються трофічними зв'язками.

Забруднення ґрунтів є серйозною багатоконпонентною проблемою зі складними екологічними наслідками. Нафтове забруднення ґрунтів є однією з небезпечних екологічних проблем, що виникають при видобутку, транспортуванні, зберіганні та переробленні нафти та нафтопродуктів.

Це явище спричиняє суттєві негативні наслідки для довкілля, здоров'я людей та економіки країни.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Нафтопродукти при потраплянні в ґрунт, змінюють його фізичні та хімічні властивості, порушують структуру та знижують родючість ґрунту [1]. Витік ракетного палива та розлив нафтопродуктів на ґрунт має значні негативні наслідки для біорізноманіття. Ракетне паливо, особливо його основні компоненти, такі як, гідразин, окислювачі та інші токсичні речовини, є надзвичайно небезпечними для довкілля. Коли ці речовини потрапляють у ґрунт, вони можуть призвести до низки шкідливих наслідків, а саме:

1. Отруєння ґрунтової фауни та мікроорганізмів. Ракетне паливо містить хімічні сполуки, які токсичні для живих організмів. Мікроорганізми, які є важливими для процесів розкладання органічних речовин і підтримання родючості ґрунту, гинуть під впливом токсинів, що призводить до порушення ґрунтових екосистем.

2. Зниження родючості ґрунту. Через загин корисних мікроорганізмів та руйнування структури ґрунту значно знижується його родючість. Це впливає на рослинний покрив та на харчовий ланцюг, включно із тваринами, виживання яких залежить від рослинності.

3. Накопичення токсинів у біосистемах. Ракетне паливо може накопичуватися в живих організмах через харчовий ланцюг. Це призводить до біоаккумуляції токсичних речовин у рослинах, тваринах та мікроорганізмах, що збільшує негативний вплив на здоров'я екосистеми.

4. Порушення гідрологічного балансу. Токсичні компоненти ракетного палива можуть впливати на водні системи через підземні води, що може спричинити отруєння водних організмів та забруднення джерел питної води.

І як наслідок, розлив ракетного палива на ґрунтовий покрив має комплексний і довгостроковий вплив на біорізноманіття, спричиняє деградацію екосистем і створює значні екологічні ризики.

Розкладання нафти в ґрунті – дуже повільний процес, і залежно від певних умов може тривати десятки або навіть сотні років.

Такий стан призводить до втрати земельних ресурсів, забруднення водойм та загрожує біорізноманіттю [2, 3].

Значне забруднення ґрунтів нафтопродуктами спостерігається на військових об'єктах та правилах зберігання військової техніки [4, 5]. На території України знаходиться велика кількість колишніх військових баз, де зберігалися не тільки нафтопродукти, але й паливо для балістичних та міжконтинентальних ракет [7].

Одним із небезпечних компонентів ракетного палива є меланж. Меланж – це вибухонебезпечна, отруйна речовина, яка використовується як елемент ракетного пального.

Він є високотоксичним і корозійним компонентом, який використовується як окислювач у ракетному паливі [8].

За роки незалежності України, цистерни з меланжем тривалий час зберігалися без належного догляду та охорони.

Меланж небезпечний не тільки своєю токсичністю, але й високою вибухонебезпечністю, особливо якщо він зберігається в неналежних умовах або в застарілих резервуарах [9].

Саме така ситуація склалася в результаті тривалого зберігання, що описана в цій статті. Авторами було проведено дослідження та аналіз ґрунтів навколо бази.

Постановка завдання

Метою роботи є проведення оцінки вмісту хімічних речовин у ґрунті навколо колишньої бази довготривалого зберігання військової техніки та стратегічних ракетноносіїв.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дослідження включало аналіз хімічного складу ґрунтів навколо бази довгострокового зберігання ракетних окислювачів та нафтопродуктів. Місце зберігання – колишня військова база стратегічних ракетноносіїв, була розташована в Івано-Франківській області. Нині військова база розформована, а пускові установки були знищені [10].

На базі залишилися деякі бетонні та металеві конструкції. На об'єкті переважно, зберігалися нафтопродукти та меланж (ракетний окислювач).

Оскільки це колишній стратегічний військовий об'єкт, публікація його точного місцезнаходження та фотографій є таємним. Доступ до бази обмежений.

Навколишній ґрунт був відібраний за схемою, показаною на рис. 1.



Рисунок 1. Відбір ґрунту в зоні дослідження

Вміст хімічних елементів у ґрунті

Хімічний елемент	1	2	3	4	Хімічний елемент	1	2	3	4
O	46,992	48,843	49,286	49,32	V	0,000269	0,000182	0,000062	0,000032
Si	30,935	34,634	35,965	27,9	Rb	0,000186	0,000163	0,000112	0,000208
Fe	9,461	4,417	3,945	10,3	Pb	0,00018	0,000066	0,000263	0,000166
Al	5,18	5,837	4,859	6,16	Sr	0,000152	0,000119	0,00012	0,000212
Zr	0,076	0,06	0,000414	0,0636	Y	0,000077	0,000049	0,000033	0,000017
Ca	1,118	0,608	1,113	1,998	Ni	0,000076	0,000044	0,00004	0,000066
Ti	0,8	0,737	0,625	0,62	As	0,000046	0,000011	0,000015	0,000016
Mg	0,612	0,695	0,552	0,412	Nb	0,000044	0,000031	0,000022	0,000121
Mn	0,567	0,11	0,113	0,103	Ga	0,000029	0,000022	0,000014	0,000099
P	0,283	0,102	0,125	0,23	Cu	0,000028	0,000025	0,000041	0,000038
S	0,107	0,101	4,76E-05	0,00691	Cr	0,000008	0,000622	0,000231	0,000001

*Проби відібрані на відстані 100 м (із повторенням аналізу, для точності результату)

*Джерело: розроблено авторами

Ґрунт відбирали на відстані 100, 250 і 1000 метрів від краю території бази, з різних сторін території. Всього було відібрано 12 зразків ґрунту. Кожен зразок вагою 100 г відбирали з площі 30х30 см, та на глибині 10–12 см. Перед проведенням аналізів зразки перемішували. Кожен зразок аналізували 3 рази, після чого результати усереднювали. Хімічний склад ґрунтів визначали за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу (РФА) [11]. Дослідження проводили в атмосфері чистого гелію за допомогою прецизійного рентгенофлуоресцентного аналізатора EXPERT 3L. Похибка дослідження становила 10 ppm [11]. Цей метод дозволяє оцінити точний хімічний (елементний) склад твердої речовини в діапазоні хімічних елементів від магнію до урану.

Результати аналізу порівнювали з відомими нормативними значеннями гранично допустимих концентрацій (ГДК), затвердженими Міністерством охорони здоров'я України [12]. Ці зна-

чення допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті, наразі є діючими.

Також дані хімічного складу порівнювали з контрольним зразком. Контрольний зразок ґрунту був відібраний на дослідному полі, хімічний склад якого постійно контролюється і кожен з хімічних елементів, що входять до складу ґрунту, не перевищує ГДК.

У відібраних експериментальних зразках було виявлено низку хімічних елементів, характерних для цієї місцевості, таких як: залізо, алюміній, калій, магній тощо (табл. 1). Також були виявлені хімічні елементи, які у великих дозах можуть бути небезпечними для живих організмів. У зразках, відібраних поблизу бази, виявлено значну кількість мангану, сульфуру та ванадію.

У таблиці 1 наведено результати аналізу проб, відібраних на відстані 100 м від краю території зберігання меланжу та пально-мастильних матеріалів. Сірим кольором виділено відсотки хі-

Таблиця 2

Вміст хімічних елементів у ґрунті

Хімічний елемент	1	2	3	4	Хімічний елемент	1	2	3	4
O	53,201	47,931	51,108	56,211	Zn	0,000138	0,000098	0,000206	0,000235
Si	32,655	36,01	30,05	28,64	V	0,000062	0,000021	0,000002	0,000011
Fe	4,55	3,88	8,417	3,945	Rb	0,0001	0,000101	0,000067	0,000055
Al	4,88	4,832	4,65	5,77	Pb	0,00011	0,000089	0,000026	0,000088
K	3,02	3,7	3,79	1,87	Sr	0,000069	0,000012	0,000022	0,000158
Ca	0,308	2,113	1,198	1,6	Y	0,000039	0,000021	0,000066	0,000004
Ti	0,37	0,625	0,018	0,791	Ni	0,000034	0,000012	0,000012	0,000031
Mg	0,668	0,547	0,428	0,759	As	0,000019	0,000035	0,000101	0,000005
Mn	0,099	0,128	0,134	0,116	Nb	0,000331	0,000012	0,00004	0,000039
P	0,1	0,165	0,088	0,192	Ga	0,000002	0,000034	0,000026	0,000013
S	0,0088	0,0098	0,0011	0,000315	Cu	0,000015	0,000031	0,000027	0,000021
Zr	0,05	0,000414	0,076	0,006	Cr	0,000092	0,000081	0,000098	0,00012

*Проби відібрані на відстані 250 м (із повторенням аналізу, для точності результату)

Таблиця 3

Вміст хімічних елементів у ґрунті

Хімічний елемент	1	2	3	4	Хімічний елемент	1	2	3	4
O	47,1	49,1	50,71	41,48	Zn	0,000096	0,000075	0,000105	0,000149
Si	35,15	30,975	31,634	36,7	V	0,000062	0,000021	0,000002	0,000011
Fe	7,66	9,48	5,9	5,24	Rb	0,0001	0,000101	0,000067	0,000055
Al	4,821	5,14	5,837	8,899	Pb	0,00011	0,000089	0,000026	0,000088
K	2,36	2,764	3,82	3,99	Sr	0,000069	0,000012	0,000022	0,000158
Ca	1,5	2,08	0,308	2,363	Y	0,000039	0,000021	0,000066	0,000004
Ti	0,661	0,0478	0,767	0,225	Ni	0,000034	0,000012	0,000012	0,000031
Mg	0,517	0,169	0,721	0,634	As	0,000019	0,000035	0,000101	0,000005
Mn	0,091	0,108	0,114	0,166	Nb	0,000331	0,000012	0,00004	0,000039
P	0,095	0,003	0,112	0,234	Ga	0,000002	0,000034	0,000026	0,000013
S	0,00086	0,00919	0,00066	0,000465	Cu	0,000015	0,000031	0,000027	0,000021
Zr	0,004	0,0077	0,06	0,0054	Cr	0,000092	0,000081	0,000098	0,00012

*Проби відібрані на відстані 1000 м (із повторенням аналізу, для точності результату)

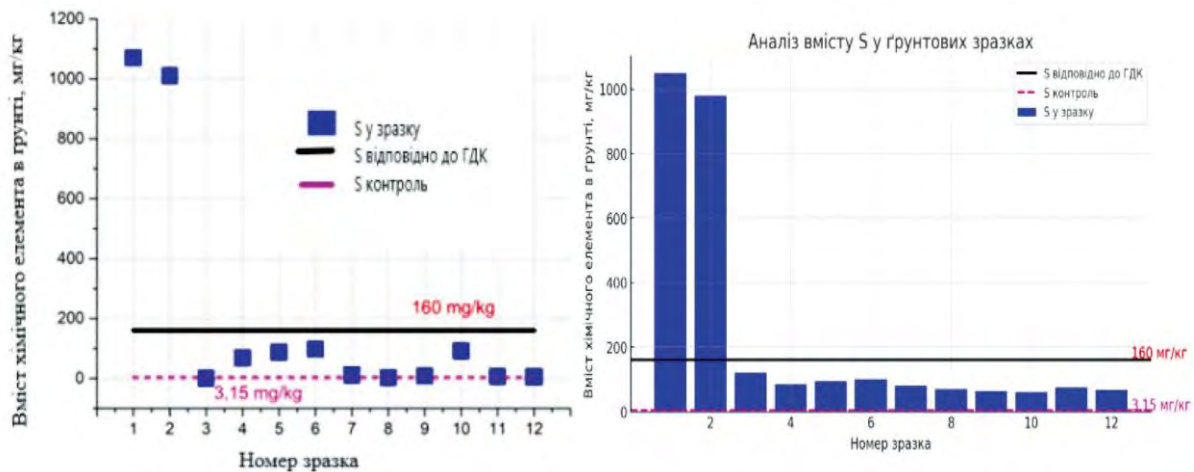


Рисунок 2. Вміст сірки у відібраних зразках ґрунту, допустимий рівень сірки за ГДК і контрольний рівень сірки

*Джерело: розроблено авторами

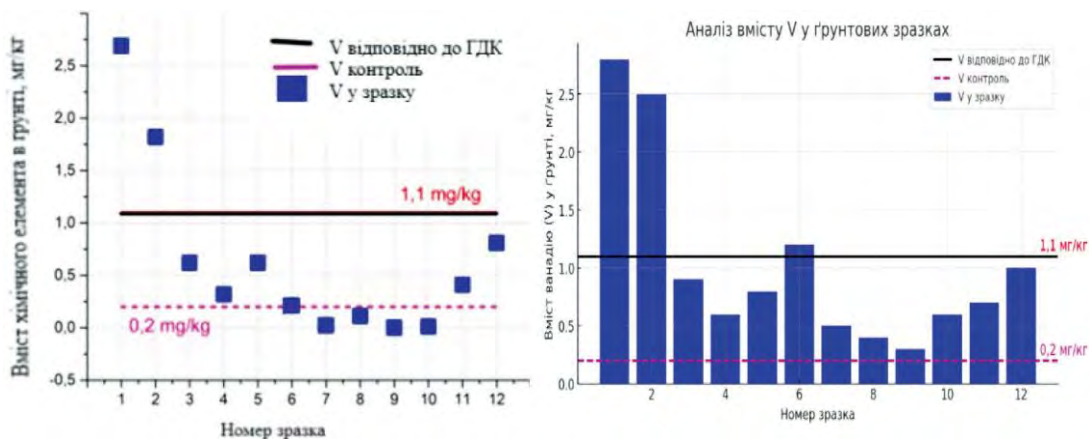


Рисунок 3. Вміст ванадію у відібраних зразках ґрунту, допустимий рівень ванадію за ГДК і контрольний рівень ванадію

*Джерело: розроблено авторами

мічних елементів, які значно перевищують гранично допустимі норми. Як видно з таблиці 1, перевищення норм спостерігається для проб 1 і 2. При цьому перевищення характерне для сірки, ванадію, мангану та хрому (рис. 2, 3, 4).

У зразках, відібраних на більшій відстані від бази, перевищення норм вмісту за ГДК не виявлено (табл. 2).

Таблиця 2 дозволяє оцінити рівень забруднення важкими металами (Pb, As, Cr) та визначити природні або техногенні особливості ґрунту.

Повторний аналіз допомагає усунути випад-

кові похибки та підвищує достовірність отриманих результатів.

Дані таблиць 2 та 3 є важливими для оцінки екологічного стану території, визначення рівня забруднення та характеристики ґрунтового складу. Аналіз таких параметрів допомагає виявити можливі джерела техногенного навантаження та сприяти прийняттю рішень щодо екологічного моніторингу і відновлення земель.

На рисунках 2 та 3 зображено вміст сірки і ванадію порівнянно з контрольним зразком та нормативом ГДК. Таблиця 3 демонструє типовий

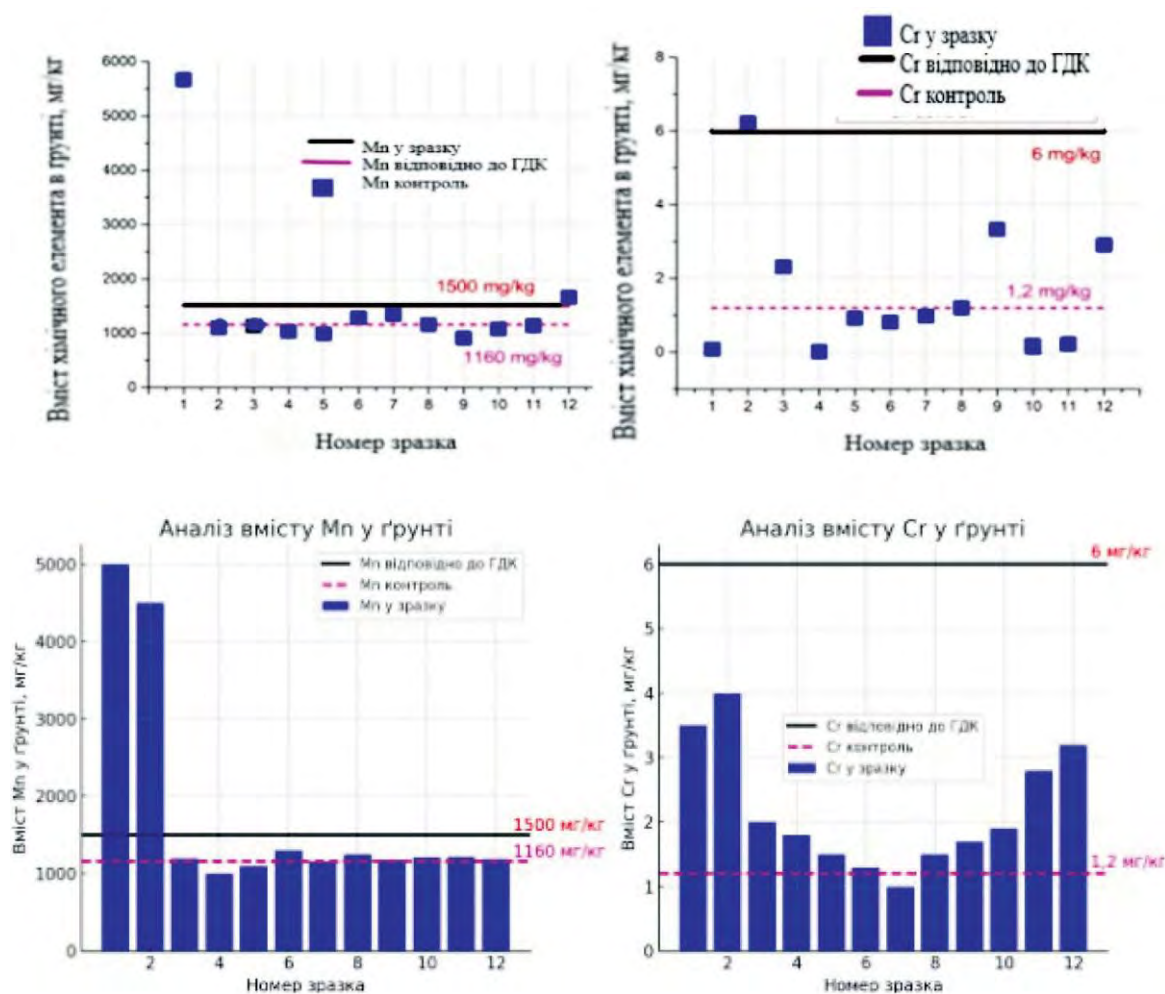


Рисунок 4. Вміст мангану та хрому у відібраних зразках ґрунту, контрольний та допустимий їх рівень за ГДК

*Джерело: розроблено авторами

розподіл елементів у ґрунті, де макроелементи (O, Si, Fe, Al) складають основну масу, а інші хімічні елементи присутні в значно менших концентраціях.

На рис. 2 ГДК допустимого вмісту сульфуру зображено червоною лінією, а значення вмісту сульфуру в контрольному зразку показано фіолетовою пунктирною лінією.

Підвищений вміст S у перших двох зразках може свідчити про локальне забруднення або природні особливості даної ділянки.

Інші зразки містять S у межах екологічних норм, хоча дещо вище контрольного рівня, що може свідчити про незначний техногенний вплив.

На рисунках 4 та 5 показано концентрації мангану, свинцю, хрому та цинку порівняно з

контрольним зразком та гранично допустимими концентраціями. Як видно з рисунків, перевищення ГДК характерне для марганцю та хрому на відстані 100 метрів від території бази.

Джерела підвищеного вмісту V у зразках 1 і 2 можуть бути пов'язані з:

- Промисловими або техногенними викидами.
- Особливостями геологічної будови ділянки.

Наявність V у всіх зразках вище контрольного рівня свідчить про потенційний антропогенний вплив, але не у всіх випадках перевищено допустимі межі.

З означених вище результатів можна зробити висновок, що забруднення ґрунту є значним ли-

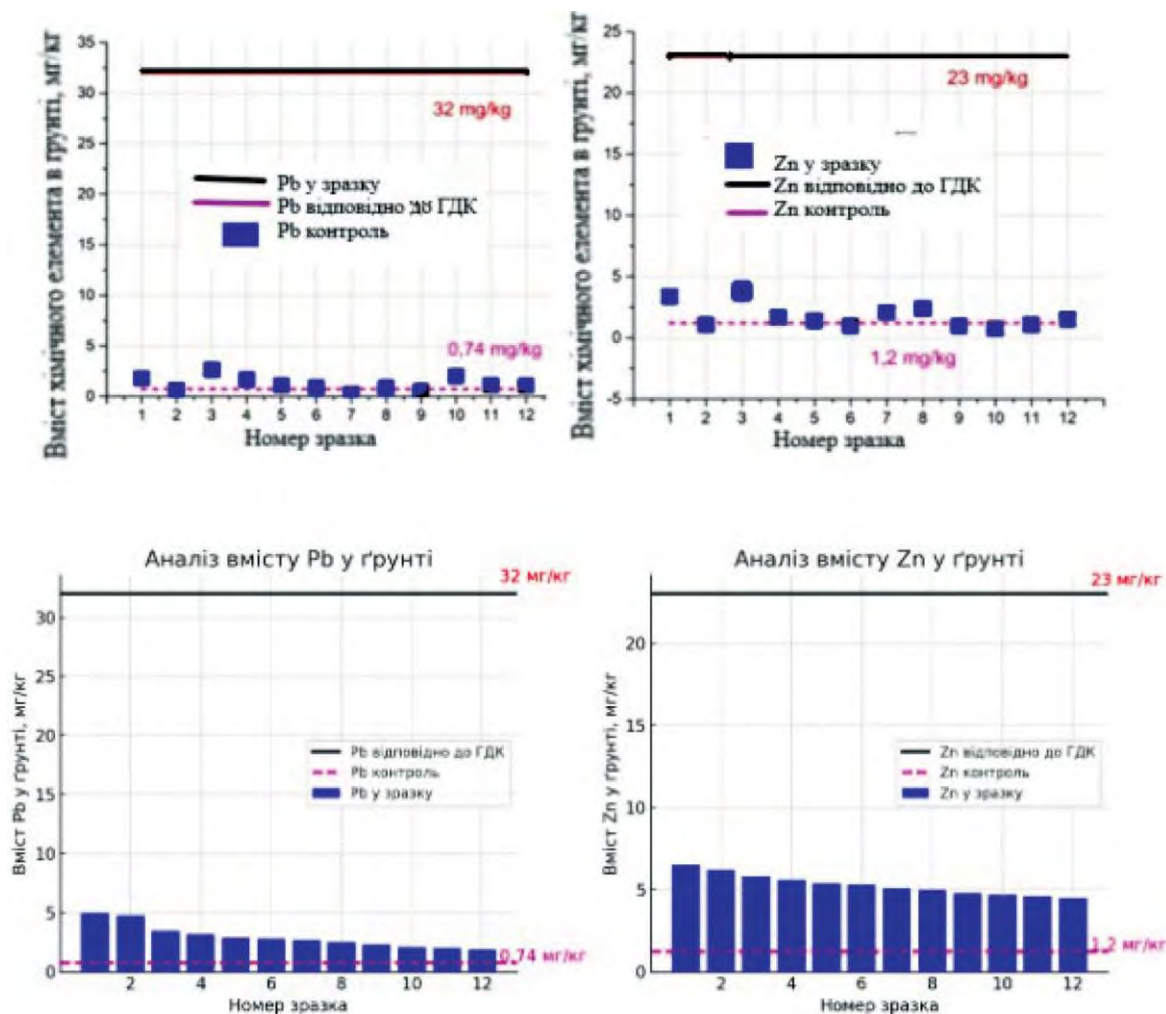


Рисунок 5. Вміст свинцю та цинку у відібраних зразках ґрунту, контрольний та допустимий їх рівень за ГДК

*Джерело: розроблено авторами

ше на невеликій відстані від військової бази (100 метрів). На жаль, оцінити хімічний стан ґрунту на базі неможливо, через воєнний стан в країні та засекреченість об'єкту.

Із врахуванням вищезначеного, ґрунт навколо бази потребує подальшого моніторингу та очищення.

Одним з методів очищення забруднених ґрунтів, який може бути використаний в даній ситуації, є висадка та вирощування енергетичних культур.

Автори проаналізували, що використання високоврожайних енергетичних культур може значно зменшити забруднення ґрунту різними важкими металами.

Висновки

Проблема забруднення ґрунтів навколо військових об'єктів є актуальною, особливо з огляду на військові дії, що ведуться на території України. На великих базах зберігаються окрім військової техніки, шкідливі паливно-мастильні матеріали та боєприпаси. З часом, території навколо таких баз можуть бути забруднені хімічними елементами різного рівня небезпеки. Дослідження показало, що ґрунти на відстані 100 метрів навколо бази зберігання меланжу містять значну кількість марганцю, ванадію, хрому та сірки, кількість яких значно перевищує гранично допустимі норми. Ці хімічні елементи можуть потрапляти і у водойми, що може становити не-

безпеку для людей і тварин, які проживають на цій території. Одним з можливих способів очищення таких ґрунтів може бути вирощування та подальша переробка енергетичних культур.

Список використаних джерел

1. Clean-up of crude oil-contaminated soils: bioremediation option. / Okoh E., та ін. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020. 17(2). С. 1185–1198.
2. Salimnezhad A, Soltani-Jigheh H., Soorki A. Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021. 13 (3). С. 653–670.
3. Budjeryn M. *Soil Chemical Pollution and Military Actions: A Bibliometric Analysis. Inheriting the Bomb: The Collapse of the USSR and the Nuclear Disarmament of Ukraine*. JHU Press. 2022.
4. Kovshov S. V., Garkushev A. U., Sazykin A. M. Biogenic technology for recultivation of lands contaminated due to rocket propellant spillage. *Acta Astronautica*. 2015. 109. С.203–207.
5. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України / А. Сплодитель та ін. <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-full3.pdf>.
6. Trofimov I., Boichenko S., Shamanskyi S. Analysis of rocket fuels and problems of their application on the example of Ukraine. *Technology audit and production reserves*. 2020. 6 (1). С. 56.
7. Riabchuk M. Ukraine's nuclear nostalgia. *World Policy Journal*. 2009. 26(4). С. 95-105.
8. Butenko O., Boychuk V., Savchenko B., Kotsyubynsky V., Khomenko V., Barsukov V. Pure ultrafine magnetite from carbon steel wastes. *Materials Today: Proceedings*. 2019. 6. С. 270-278.
9. Polutrenko M., Fedorovich Y., Hrytsulyak H., & Kotsyubynsky A. Influence of composition of soil electrolyte model environments on corrosion rate of tube steel. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. С. 23.
10. Lopushnyak V., Hrytsuliak H., Kozova I., Jakubowski T., Kotsyubynska Y., Polutrenko M., & Kozan N. Biological absorption of chemical elements in Topinambur plants by separation of wastewater in Podzol soil. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. 23(9).
11. Lopushniak V., Tonkha, O, Hrytsuliak H., Lopushniak H., Polutrenko M., Poberezhna L., Kotsyubynska Y. Productivity model of herbal bioenergy cultures depending on biometric indicators of overhead mass. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. 23.
12. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: Міністерство охорони здоров'я України від 14.01.2020 № 52. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>.

КОМПЛЕКСНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ПІД ЕКСТЕНСИВНИЙ ЗЕЛЕНИЙ ДАХ, ПІДБІР РОСЛИННОГО АСОРТИМЕНТУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДОГЛЯДУ

Рибак О. С., Герасимчук Л. О.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

ke_ros@ztu.edu.ua,

Gerasim4uk@ukr.net

Представлено комплексне дослідження технологій створення та обслуговування екстенсивних зелених дахів як важливого елементу екологічної міської архітектури. Досліджено детальну типологічну класифікацію зелених дахів, що включає екстенсивні типи з їх підвидами. Для екстенсивних дахів виділено чотири основні форми: мохово-лишайникове, трав'янисте, газонне та лучно-степове озеленення. На практиці використовуються спеціалізовані типи таких дахів – легкий, ретенційний, біорізноманіття та сонячний зелений. В статті описано технічні характеристики кожного типу, враховуючи товщину субстрату, допустиме навантаження та особливості конструкцій. Створено систематизовану таблицю рослин з урахуванням їх морфологічних особливостей, вимог до умов вирощування та функціональних характеристик. За аналізом наукових досліджень для екстенсивних дахів рекомендовано використання посухостійких видів рослин таких, як седуми та очитки (сукуленти) та низькорослих трав. Розроблено детальні рекомендації з технічного обслуговування таких об'єктів. Для екстенсивних дахів запропоновано систему мінімального догляду з періодичністю від щоквартальної до річної. Результати дослідження створюють теоретичне та практичне підґрунтя для широкого впровадження технології зелених дахів у міському будівництві, що сприятиме розвитку сталої архітектури та покращенню екологічного стану міст.

Екстенсивні зелені дахи демонструють значний потенціал у покращенні міського середовища через низку екологічних переваг. Дослідження показало, що такі системи здатні знижувати температуру повітря на 2–4°C через евапотранспірацію і поглинати 1,5–2 кг CO₂ на квадратний метр щорічно та затримувати 40–60% річної кількості опадів. Особливу увагу приділено аналізу конструктивних особливостей різних типів екстенсивних дахів, що дозволяє оптимізувати їх функціональність відповідно до конкретних умов застосування.

Важливим аспектом дослідження є економічна ефективність екстенсивних зелених дахів. При правильному проектуванні та дотриманні технології монтажу, термін дії системи складає 40–50 років, що робить їх довгостроковою інвестицією в екологічну інфраструктуру міста. Розроблені рекомендації щодо догляду та обслуговування враховують специфіку українських кліматичних умов, що дозволяють мінімізувати експлуатаційні витрати при збереженні високої ефективності системи.

Ключові слова: зелений дах, екстенсивне озеленення, рослинний, тепловий острів, технічне обслуговування, міська екологія, стала архітектура.

Comprehensive guidelines for extensive green roof design, plant selection, and maintenance.
Rybak O., Herasymchuk L.

This study presents a comprehensive analysis of technologies for the development and maintenance of extensive green roofs as a key element of ecological urban architecture. A detailed typological classification of green roofs is provided, focusing on extensive systems and their subtypes. Four primary forms of extensive green roofs are identified: moss-lichen, herbaceous, turf, and meadow-steppe vegetation. In practice, specialized types of extensive green roofs are commonly used, including lightweight, retention, biodiversity, and solar green roofs. The article outlines the technical characteristics of each type, considering substrate thickness, permissible load capacity, and structural features.

A systematically organized plant selection table is developed, accounting for morphological traits, growth requirements, and functional properties. Based on scientific analysis, drought-resistant species such as sedums and stonecrops (succulents), along with low-growing grasses, are recommended for extensive green roofs. Detailed maintenance guidelines are proposed, advocating a minimal-care system with maintenance intervals ranging from quarterly to annual inspections.

The study provides both theoretical and practical foundations for the widespread adoption of green roof technology in urban construction, contributing to sustainable architecture and improved environmental conditions in cities.

Extensive green roofs offer significant potential for enhancing urban environments due to their numerous ecological benefits. Research findings indicate that these systems can lower air temperatures by 2–4°C through evapotranspiration, absorb 1.5–2 kg of CO₂ per square meter annually, and retain 40–60% of yearly precipitation. Special attention is given to the structural characteristics of various extensive green roof types, optimizing their functionality for specific applications.

A key aspect of the study is the economic efficiency of extensive green roofs. When properly designed and installed, these systems have a lifespan of 40–50 years, making them a long-term investment in urban ecological infrastructure. The proposed maintenance recommendations consider Ukraine's climatic conditions, allowing for minimized operational costs while maintaining high system efficiency.

Keywords: green roof, extensive greening, plant selection, urban heat island, maintenance, urban ecology, sustainable architecture.

Постановка проблеми

В сучасних умовах урбанізації та кліматичних змін гостро постає проблема ефективного використання міського простору та покращення екологічного стану міст. Зелені дахи являють собою інноваційне рішення, яке дозволяє компенсувати втрату зелених зон при забудові, а також створити додаткові екологічні переваги для міського середовища [1–6].

Актуальність дослідження

Станом на 2023 року площа зелених дахів у світі перевищує 2,4 млн м². Серед країн Європи Німеччина виявилась лідером із впровадження зелених дахів – близько 14% всіх плоских дахів озеленені, що складає 86 млн м². У Франції з 2015 року нові побудовані комерційні будівлі повинні мати частково озеленені дахи. В м. Копенгаген (Данія) з 2010 року всі нові плоскі дахи з нахилом менше 30° повинні бути озелененими повністю. У США площа зелених дахів щорічно зростає на 10–15%. В Україні технологія зелених дахів лише починає розвиватися – загальна площа становить близько 10000 м², переважно у великих містах (м. Київ, Львів, Харків). Із огляду викладеного, дослідження є актуальним через зростаючу потребу в екологічних рішеннях для міської забудови, необхідність підвищення енергоефективності будівель та адаптації міст до кліматичних змін. Слід визначити, що зелені дахи суттєво відрізняються за навантаженням на конструкцію, глибиною субстрату, вимогами до обслуговування та можливостями озеленення. Розуміння цих відмінностей дозволить прийняти обґрунтоване рішення щодо оптимального варіанту із врахуванням структурних можливостей будівлі та бюджету.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота пов'язана з реалізацією стратегій сталого розвитку міст, підвищенням енергоефективності будівель та розвитком зеленої інфраструктури. Дослідження відповідає сучасним тенденціям екологізації будівництва та архітектури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізовано сучасні дослідження щодо техноло-

гій створення екстенсивних зелених дахів, дослідження дикорослих рослин, очищення повітря, зниження теплового острова, біорізноманіття на дахах будівель та управління дощовою водою. Особлива увага приділена німецькому досвіду, де близько 90% зелених дахів функціонують на основі природного зрошення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Недостатньо дослідженими залишаються питання адаптації технологій зелених дахів до локальних кліматичних умов, оптимізації систем догляду та довгострокової експлуатації в різних умовах.

Новизна дослідження полягає в тому, що вперше розроблено комплексний аналіз екстенсивного зеленого даху з детальними технічними характеристиками та рекомендаціями щодо догляду для території України. Створено систематизовану таблицю рослин для даного типу озеленення з урахуванням їх функціональних особливостей.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розроблені рекомендації створюють методологічну основу для проєктування та впровадження зелених дахів у міському будівництві, що сприяє

розвитку сталої архітектури та екологічного будівництва.

Викладення основного матеріалу. У класифікації зелених дахів розрізняють екстенсивні та інтенсивні зелені дахи. Варто зазначити, що існує проміжний варіант – просте інтенсивне озеленення, яке поєднує характеристики обох типів. Цей змішаний тип часто називають напівінтенсивним або складним екстенсивним озелененням. В статті розглянуті саме екстенсивні зелені дахи.

Особливо цікавим є те, як структура зеленого даху повторює природні системи. Спостерігається чітка паралель між шарами зеленого даху та природними ґрунтовими горизонтами: конструкція даху відповідає материнській породі, а субстрат виконує роль гумусового верхнього шару ґрунту (табл. 1). Це не просто збіг – різні функціональні шари зеленого даху відтворюють природні функції ґрунту, що робить цю систему екологічно ефективною.

Головною перевагою екстенсивного типу озеленення даху є невелика будівельна висота та мала глибина субстрату, що робить його відносно легким. Завдяки цьому, такі дахи чудово підходять для модернізації існуючих будівель.

Таблиця 1

Шарові структури екстенсивних зелених дахів

Одношарова конструкція	Багатошарова конструкція
1 – відповідна підконструкція даху (несуча функція, відповідна теплоізоляція);	4 – дренаж (2–6 см) (зберігання дощової води та скидання надлишків води до дренажних споруд; дренаж можна зробити з сипучих матеріалів);
2 – гідроізоляція даху або коренезахисна мембрана;	5 – фільтр фліс (0,5 см) (синтетичний фліс, який відокремлює дренаж від шару рослинності та запобігає вимиванню дрібних частинок у дренаж);
3 – захисний шар (шар із флісу, гумових гранульованих килимів тощо для захисту гідроізоляції даху від механічних пошкоджень);	6 – великий субстрат (5–15 см) (рослинний базовий шар; спеціальна, технічно виготовлена підкладка для багатошарового будівництва);
4 – великий одношаровий субстрат (8–10 см) (рослинний базовий шар);	7 – рослинність (види рослин, які перевірені протягом багатьох років і адаптовані до місця розташування).
5 – рослинність (пристосований до посухи, давно сформований вид рослин; застосовується насінням, паростками седуми, багаторічниками з плоскими кульками або рослинними килимками).	

З проведених досліджень можна стверджувати, що найкраще використовувати низькорослі трави–седум або очиток (сукуленти) – вони відмінно справляються з екстремальними погодними умовами. Особливо важливо, що ці рослини стійкі до посухи, адже екстенсивні зелені дахи зазвичай, не потребують постійного поливу. Дослідження показали, що природні рослинні угруповання найкраще підходять для таких умов – вони невибагливі та самодостатні, а зрошення потрібно лише на початковому етапі росту [7]. Наприклад, в Німеччині близько 90% зелених дахів живляться виключно дощовою водою та рососою [8].

Щодо встановлення, варто надати перевагу таким варіантам покрівель: плоскі, похилі дахи (з кутом нахилу 5–15°) або скатні дахи (з нахилом до 45°).

В одношаровій конструкції екстенсивних зелених дахів рослинний шар має дренажні властивості, у багатошаровій – до основного шару рослинності додатково встановлюється дренажний шар (що особливо доцільно в регіонах, де випадають сильні та часті дощі), що дозволяє швидко злити зайву воду і уникнути перезволоження (табл. 1). Ефективність водовідведення та зменшення пікових навантажень під час сильних опадів можна покращити шляхом інфільтрації надлишкової води, що накопичується в резервних сховищах, назад у ґрунт.

Варто розуміти, що зелені дахи – не просто елемент озеленення, а складні багатофункціональні системи, які поєднують будівельні та ландшафтні елементи. Також результати дослідження вчених підтверджують їх суттєвий вплив на покращення екології міста та енергоефективність будівель [1–3, 9].

Екстенсивні зелені дахи здатні суттєво знижувати температуру міського середовища через такі механізми:

1. Евапотранспірація: рослини на даху випаровують воду через листя, охолоджуючи навколишнє повітря. За даними дослідження цей процес може знизити температуру повітря над дахом на 2–4°C [10].

2. Альbedo поверхні: зелені насадження мають вище альbedo порівняно з традиційними темними покрівельними матеріалами та доведено, що екстенсивні зелені дахи відбивають на 20–30% більше сонячної радіації [11].

3. Теплоізоляція: шар рослинності та субстрату забезпечує додаткову теплоізоляцію будівлі. Згідно з дослідженням науковців це може знизити потребу в охолодженні будівлі влітку на 25–40% [12].

4. Охолодження повітря: масове впровадження зелених дахів може знизити температуру повітря в місті на 0,3–3°C залежно від кліматичних умов та щільності забудови [13].

Дослідження також показали, що такі дахи через процес фотосинтезу, здатні поглинати 1,5–2 кг CO₂ на квадратний метр щорічно [14]. А також, що рослинність екстенсивних зелених дахів ефективно фільтрує забруднюючі речовини з повітря – один квадратний метр може уловлювати до 0,15 кг забруднювачів на рік, включно дрібнодисперсний пил (PM₁₀ і PM_{2.5}), оксиди азоту та інші шкідливі речовини [15]. Потрібно зазначити що, особливо ефективними у фільтрації повітря виявились мохи та сукуленти, які часто використовуються в екстенсивних системах через їх невибагливість [16]. Щодо біорізноманіття, визначено, що навіть тонкий субстрат екстенсивних дахів (7–15 см) здатний підтримувати різноманітні види комах та птахів, які створюють «степові» екосистеми на дахах [17]. Особливу цінність мають екстенсивні зелені дахи для збереження запилювачів у містах [18]. Стосовно управління водними ресурсами науковцями було встановлено, що екстенсивні зелені дахи здатні затримувати 40–60% річної кількості опадів, що значно зменшує навантаження на міську каналізацію [19]. Більше того, дослідження показало можливість використання попередньо очищеної сірої води для поливу рослин на екстенсивних дахах, що сприяє замкненому циклу водокористування в будівлі [20]. При цьому, важливо підбирати посухостійкі види рослин, які можуть витримувати певний рівень забруднень у сірій воді [21].

У разі реконструкції будівлі, варто віддати перевагу екстенсивним дахам: легкі – 60–150 кг/м², прості в обслуговуванні, висотою 60–200 мм, можуть встановлюватись на схилах до 30°. Для таких дахів доцільно використовувати сукуленти та мохи, які найкраще витримують посуху. Особливу увагу варто приділити конструкції даху, адже правильно підібрані матеріали та якісний монтаж забезпечать роботу

системи на 40-50 років. Кожен шар є важливим: гідроізоляція захищає від води, протикоренева мембрана рослин береже гідроізоляцію, дренаж відводить зайву вологу, фільтр утримує частки субстрату.

При впровадженні зеленої покрівлі на будівлях необхідно враховувати всі фактори: клімат, можливості конструкції, цілі встановлення та подальше обслуговування. Необхідно переконатися у якості матеріалів та дотриманні технології монтажу, що є критично важливим для довговічності системи.

Важливим є й ретельне проєктування кожного шару: оцінка несучої здатності покрівлі (має витримати всю систему), гідроізоляція та коренезахисна мембрана (захист будівлі), дренажний та фільтруючий шари (забезпечують правильний водний режим), підбір субстрату (з врахуванням запланованих рослин та місцевого клімату).

Дотримання означених рекомендацій забезпечить отримання надійної системи, що поєднує екологічні, економічні та естетичні переваги, а зелений дах стане ефективним елементом сталої архітектури та слугуватиме десятиліття.

Серед типів озеленення екстенсивних зелених дахів, з огляду використання рослин і отриману товщину субстрату, розрізняють (табл. 2): мохово-лишайниковий, трав'янистий, газонний та лучно-степовий. Такі типи озеленення мають низьку та середню висоту субстрату, максимальну водо-

ємність приблизно до 60% і добре підходять для швидкого та легкого озеленення великих площ даху. Однак слід стежити за тим, щоб субстрат мав достатню максимальну водоемність, особливо при використанні садової зелені та трави.

Правильний підбір рослин є важливим фактором успіху зеленого даху. Для екстенсивного типу оптимальні низькорослі, посухостійкі види: седуми, очитки та інші сукуленти, які витримують екстремальні погодні умови та потребують мінімального догляду (табл. 3). Врахування специфіки рослин для кожного типу даху забезпечить їх довготривале виживання та естетичну привабливість озеленення.

Екстенсивні зелені дахи можна додатково розділити на:

1. Легкий дах, що характеризується тонкошаровою конструкцією (товщина основи приблизно 4–6 см), що дає змогу озеленити покрівлі з низькою несучою здатністю. Тут використовують невеликої товщини основу. На цих дахах можна використовувати лише рослини, які ростуть на низьких шарах субстрату, наприклад, мохи та седуми. Утримання води відповідно низьке.

2. Ретенційний дах забезпечує високе поглинання та зберігання дощової води через дренажний шар з додатковими місцями для зберігання для зрошення рослин. Особливістю ретенційної покрівлі є установка так званої «дросельної заслінки», щоб контролювати максимальний

Таблиця 2

Технічні дані екстенсивних зелених дахів

Тип	Товщина субстрату	Характеристика рослинності	Приклади рослин
Мохово-лишайниковий	2-6 см	невибагливі низькорослі рослини, що витримують посуху	мохи, лишайники, очитки
Трав'янистий	6-12 см	посухостійкі трави та багаторічники	злакові трави, седуми, чебрець
Лучно-степовий	12-20 см	різноманітні трави та квітучі рослини	костриця, полин, шавлія
Газонний	15-25 см	газонні трави з регулярним доглядом	райграс, костриця червона, мятлик

Таблиця 3

Найпопулярніші види рослини для екстенсивних дахів

Ботанічна назва	Звичайна назва	Висота (мм)	Колір квітки	Період цвітіння (місяць)
Рослини з добре визначеною декорат. формою (групи 3, 5 або 7 шт.)				
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Пучок	400	червоний	6 – 9
<i>Festuca Cinerea-Hybride</i>	Блакитна костриця	250 – 300	коричневий	6 – 7
<i>Gypsophila repens</i> <i>напр.</i> « <i>Rosa Schönheit</i> »	Перекотиполе	100 – 150	рожевий	5 – 7
<i>Helianthemum nummularium</i>	Сонцесвіт	50 – 100	жовтий	5 – 7
<i>Koeleria glauca</i>	Кипець сизий	450 – 500	блакитний	6 – 7
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	Туніка каменоломкава	100 – 200	рожево-білий	6 – 9
<i>Saponaria ocymoides</i>	Мильнянка базиліколісна	150 – 200	рожевий	5 – 7
<i>Satureja montana</i> ssp. <i>illyrica</i>	Чабер зимовий	100 – 150	фіолетовий	8 – 9
<i>Saxifraga paniculata</i>	Ломикамінь живучий	200 – 250	білий	6 – 7
<i>Sempervivum-Hybriden</i>	Гібриди молодила	100 – 200	червоний / рожевий	7 – 8
Рослини-наповнювачі (мінімум чотири різних видів седуму)				
<i>Cerastium arvense</i> « <i>Compactum</i> »	Польова пісчанка	50 – 100	білий	5 – 6
<i>Hieracium pilosella</i>	Нечуйвітер волохатенький	150 – 200	жовтий	5 – 7
<i>Potentilla neumanniana</i>	Перстач Кранца	100 – 150	жовтий	3 – 4
<i>Prunella grandiflora</i>	Чорноголівка крупноквіткова	200	фіолетовий	6 – 8
<i>Thymus doerfleri</i> « <i>Bressingham Seedling</i> »	Чебрець Бресінгема	60 – 80	рожевий	5 – 7
<i>Thymus serpyllum</i>	Чебрець повзучий	50	фіолетовий	5 – 9
<i>Sedum album</i> varieties <i>Нанр.</i> « <i>Coral Carpet</i> » « <i>Murale</i> »	Білі сорти седуму	50 – 100	білий білий блідо-рожевий	6 – 8
<i>Sedum caulicolum</i>	Марь стінна	100 – 150	рожевий	8 – 9
<i>Sedum floriferum</i> , « <i>Weihenstep. Gold</i> »	Золотистий седум	100 – 150	жовтий	6 – 7
<i>Sedum hybridum</i> « <i>Immergrünchen</i> »	Гібридна заяча капуста	100 – 150	жовтий	7 – 8
<i>Sedum reflexum</i>	Гачкуватий жовтий седум	200 – 250	жовтий	6 – 7
<i>Sedum sexangulare</i>	Прісний жовтий седум	50 – 100	жовтий	6 – 7
<i>Sedum spurium</i> в різновидах <i>Нанр.</i> , « <i>Album Superbum</i> » « <i>Fuldaglut</i> » « <i>Roseum Superbum</i> » « <i>Splendens</i> » « <i>Variegatum</i> »	Драконова кров	100–150	білий **	7–8

** нечасте цвітіння

відтік води через накопичувальний елемент і регулювати її випуск протягом декількох годин або днів. Окремо слід розглянути статистику утримуючих покрівель. Тут можливі проекти екстенсивних зелених дахів та інтенсивних зелених дахів, залежно від товщини шару основи. Однак покрівля без скату є обов'язковою умовою для монтажу підпірної покрівлі.

3. Дах біорізноманіття показує різні поверхні та висоту субстрату (прибл. 8–15 см, з насипами до 30 см), а також різні елементи дизайну. Комахи та особливо птахи віддають перевагу цьому типу зеленого даху завдяки цілеспрямованому та різноманітному вибору рослин. Покрівля з біорізноманіттям також може мати інтенсивний характер, наприклад, через накопичення субстратних насипів і висаджування більш високих багаторічних рослин або кущів. На цих дахах можна знайти мертве дерево та засоби для гніздування, як схованки для птахів і комах, а також пташині ванни та піщані нори [22]. Підтримка біорізноманіття зелених дахів є дещо складнішою, ніж звичайних дахів з травами, оскільки необхідно враховувати додаткові матеріали, що використовуються на даху.

4. Зелений сонячний дах являє собою комбінацію фотоелектричної системи з екстенсивним зеленим дахом. В основному тут використовують низькорослі рослини, наприклад, седуми, але також часто зустрічається зелень трав'яно-злакових рослин і трави. Озеленення позитивно впливає на сонячну систему, оскільки випаровування підвищує продуктивність сонячної системи, а зелений дах також захищає гідроізоляцію даху від термічного та механічного впливу. Існують також фотоелектричні системи, які підтримуються вагою конструкції зеленого даху, тому не потрібно проникати через мембрану даху. Обслуговування сонячних зелених дахів є складним, оскільки різні конструкції фотоелектричних систем не завжди забезпечують доступне обслуговування. Перш за все, низькорослі рослини слід розглядати в поєднанні з фотоелектричною системою, щоб полегшити обслуговування зеленого даху.

Створені рекомендації (табл. 4) допоможуть спланувати ефективне обслуговування екстенсивного зеленого даху. Графік робіт можна адаптувати залежно від кліматичних умов та специфіки об'єкта.

Таблиця 4

Рекомендації з обслуговування екстенсивних зелених дахів

Вид робіт	Періодичність	Основні заходи	Важливі примітки
Візуальний огляд	щоквартально	перевірка стану рослин, дренажу та гідроізоляції	особлива увага після сильних опадів
Догляд за рослинами	2–3 рази на рік	видалення бур'янів, обрізка, заміна загиблих рослин	використовувати тільки ручні інструменти
Удобрення	раз на рік (весна)	внесення повільнодіючих добрив, контроль рН	спеціальні добрива для седумів
Полив	при тривалій посухі	помірний полив вранці або ввечері	уникати перезволоження
Технічне обслуговування	1–2 рази на рік	очищення дренажу, перевірка стиків та гідроізоляції	проводити до і після зими
Сезонні роботи	за сезонами	підготовка до зими, весняна ревізія, прибирання листя	адаптувати до кліматичних умов
Моніторинг	щомісячно	контроль шкідників, спостереження за ростом	ведення журналу спостережень

Висновки

Результати дослідження створюють теоретичну та практичну основу для впровадження технології зелених дахів у міському будівництві України. Розроблені рекомендації щодо вибору конструкції та підбору рослин можуть бути використані при проєктуванні нових об'єктів та реконструкції існуючих будівель. Систематизована інформація щодо технічного обслуговування дозволить оптимізувати процеси догляду за зеленими дахами.

Авторами досліджено, що екстенсивні зелені дахи є ефективним екологічним рішенням для міської забудови. Було визначено чотири основні типи екстенсивних зелених дахів: мохово-лишайниковий, трав'янистий, лучно-степовий та газонний. Розроблено систематизовану таблицю рослин для екстенсивних дахів, де найбільш ефективними виявились посухостійкі види: седи, думи, очитки та низькорослі трави. Встановлено, що при правильному проєктуванні та дотриманні технології монтажу термін експлуатації такої системи складатиме 40–50 років.

Список використаних джерел

1. Романчук Л. Д., Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Використання сірої води зеленими дахами: системний аналіз та перспективи впровадження. Український журнал природничих наук. 2024. № 10. С. 254–263. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.24>.
2. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Бельмега І. В., Шацило Є. Г. Зелені дахи як напрям наукових досліджень. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2024. № 1(55). С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.5>.
3. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Весельський О. О. Переваги зелених дахів та їх розрахунок. Аграрні інновації. 2024. № 23 (2024). С. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7>.
4. Герасимчук Л., Валерко Р., Розгон В., Маліновська В. Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. №3. С. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>.
5. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г. Прояв зміни температури повітря на території м. Житомир. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Екологія». 2023. Вип. 29. С.6-16. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01>.
6. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2020. P. 1. pp. 85-101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
7. Рибак О. С., Пацева І. Г. Дослідження дикорослих рослин для екстенсивного озеленення дахів зони Полісся. Екологічні науки. 2024. № 1(52), т. 2. С. 168-171. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.31>.
8. DeNardo J. et al. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. Transactions of the ASABE. 2005. Vol. 48. P. 1491-1496. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.19181>.
9. Пацева І., Алпатова О., Рибак О., Циганенко-Дзюбенко І., Медвідь О. Озеленення даху як захід по адаптації зміни клімату на прикладі м. Житомир. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2022. № 3. С. 67-74. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-3-9>.
10. Santamouris M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy. 2014. Vol. 103. P. 682-703. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2012.07.003>.
11. Wong N. et al. Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. Nature Reviews Earth & Environment. 2021. Vol. 2. P. 166-181. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>.
12. Berardi U., Ghaffarianhoseini A., Ghaffarianhoseini A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. Applied Energy. 2014. Vol. 115. P. 411-428. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2013.10.047>.
13. Alexandri E., Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment. 2018. Vol. 43, № 4. P. 480-493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>.

14. Getter K. et al. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & Technology*. 2009. Vol. 43, № 19. P. 7564-7570. DOI: <https://doi.org/10.1021/ES901539X>.
15. Abhijith K. et al. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*. 2017. Vol. 162. P. 71-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2017.05.014>.
16. Speak A. et al. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 61. P. 283–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2012.07.043>.
17. Madre F. et al. Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling. *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 496. P. 201–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.028>.
18. Рибак О. С., Пацева І. Г. Збереження популяції бджіл на урбанізованих територіях через зелені дахи. *Бджільництво України*. 2024. № 12. С. 103-107. DOI: <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2024.12.12>.
19. Stovin V., Poë S., Berretta C. A modelling study of long term green roof retention performance. *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 131. P. 206-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.026>.
20. Rowe B. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159, № 8–9. P. 2100-2110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029>.
21. Vijayaraghavan K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 57. P. 740–752. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>.
22. Рибак О. С. «Зелений дах-біорізноманіт-тя»: технології будівництва, утримання, обслуговування та особливості контролю біотичної складової. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2023. № 5. С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.4>.

УДК 502/504

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-10>

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИРОДООХОРОННИХ ПРОЄКТІВ

Барабаш О. В., Хрутьба Ю. С., Покшевницька Т. В.Національний транспортний університет
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 02000*el_barabash@ukr.net*
officenttn@gmail.com

Авторами статті розглянуто важливість комплексного підходу до оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів. Актуальність теми зумовлена тим, що успіх таких ініціатив залежить не лише від їх екологічної ефективності, а й від взаємодії соціальних, економічних та управлінських чинників. Відомо, що існуюча практика оцінки не враховує зв'язок між різними аспектами, що сприяє формуванню конфліктів між зацікавленими сторонами, які, в свою чергу, негативно впливають на успіх реалізації проєктів. Такі конфлікти можуть виникати через відмінності в інтересах та потребах всіх зацікавлених сторін і ставити під загрозу досягнення цілей проєкту. Автори пропонують інтегрувати екологічні, соціальні та економічні критерії в процес оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів для мінімізації виникнення конфліктів і підвищення ефективності природоохоронних ініціатив. Для зменшення ризиків виникнення конфліктів і забезпечення ефективного управління природоохоронними проєктами запропоновано застосування інтеграційних стратегій. Такий підхід дозволяє створити більш збалансовану модель управління, яка враховує інтереси всіх сторін, що беруть участь у реалізації проєкту. У статті також наголошується на важливості залучення громадськості та всіх зацікавлених сторін до процесу прийняття рішень для досягнення позитивного соціального ефекту реалізації проєктів. Участь громадськості допомагає зміцнити довіру та підтримку

місцевих жителів, що є критично важливим для успіху будь-якої ініціативи. Комплексний підхід стосовно оцінки впливу на довкілля природоохоронних проєктів є ключем до досягнення сталого розвитку та збереження біорізноманіття, а також сприяє залученню всіх зацікавлених сторін у процес прийняття рішень. Результати таких дослідження можуть бути основою в рамках проведення комплексної оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів, а також дозволять зробити якісний науковий прогноз можливих змін в результаті реалізації того чи іншого проєкту. Це, так само, сприятиме більш ефективному плануванню та реалізації природоохоронних заходів. Отож, у статті наголошується на системному підході щодо управління природоохоронними ініціативами, що може значною мірою, допомогти у підвищенні їх ефективності, а також у забезпеченні сталого розвитку регіонів. Очікується, що запропонований підхід стане основою для подальших досліджень та практичних рекомендацій у сфері екологічної політики.

Ключові слова: оцінка впливу на довкілля, критерії оцінки впливу на довкілля, комунікаційні технології, природоохоронні проєкти.

An integrated approach to environmental impact assessment of conservation projects.

Barabash O., Khrutba Yu., Pokshevnytska T.

This study highlights the need for a comprehensive approach to assessing the environmental impact of conservation projects. The success of such initia-

tives depends not only on their ecological effectiveness but also on social, economic, and governance factors. Existing assessment methods often overlook these interconnections, leading to conflicts among stakeholders and hindering project implementation.

The authors propose integrating environmental, social, and economic criteria into environmental impact assessments to minimize conflicts and enhance project efficiency. Implementing integrative strategies can create a balanced management model that considers the interests of all involved parties. Public participation in decision-making is emphasized as a crucial factor for building trust, securing local support, and ensuring long-term success.

A systematic approach to environmental impact assessment is essential for promoting sustainable development, preserving biodiversity, and improving planning and implementation of conservation measures. The proposed framework provides a foundation for further research and practical recommendations in environmental policy.

Keywords: environmental impact assessment, evaluation criteria, stakeholder engagement, conservation projects.

Постановка проблеми

В умовах зростаючої екологічної кризи та потреби збереження біорізноманіття, реалізація природоохоронних проєктів має велике значення. Проте, успіх таких проєктів залежить не лише від їхньої ефективності, але й від складних зав'язків соціальних, економічних та управлінських чинників. Існуюча практика оцінки природоохоронних проєктів часто не враховує системний зв'язок окремих аспектів. Особливо важливим є врахування потенційних конфліктів між зацікавленими сторонами які можуть суттєво вплинути на результативність ініціатив щодо охорони довкілля.

Стале управління територіями біосферних заповідників стає все більш важливою темою для науковців та екологів-практиків, але залишається незрозумілим, як це можна реалізувати в реальних регіональних умовах. Щоб досягти позитивного та вимірного впливу сталого розвитку, ефективне управління біосферними резерватами на місцях потребує додаткових методів для уяв-

лення про унікальні територіальні, політичні, економічні та соціальні характеристики кожного випадку, можливостей оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів, врахувати потреби та бачення різних груп зацікавлених сторін [1].

Прийняття рішень у природоохоронній сфері зазвичай передбачає правильне формулювання проблеми прийняття рішення, визначення можливих альтернативних дій, вибір критеріїв для оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів та обов'язкове врахування інтересів всіх зацікавлених сторін [2].

SWOT-аналіз є широко використовуваним інструментом, який допомагає визначити всі сильні та слабкі сторони проєкту, можливості та загрози, розробити стратегію, як вагомі сторони можуть допомогти подолати загрози, які потенційно можуть зашкодити та наявні можливості здатні допомогти усунути слабкі сторони.

Серед основних проблем, які вимагають термінового вирішення, є відсутність критеріїв для оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів. Це ускладнює процес прийняття рішень та впровадження ефективних стратегій управління, особливо в умовах, коли екологічні проблеми, такі як зміна клімату і антропогенне забруднення, стають дедалі більш актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблематика оцінки ефективності проєктів із застосуванням екологічних критеріїв широко висвітлюється у сучасній науковій літературі. Зокрема, у роботі зазначається [3], що необхідно використовувати адекватні методи оцінки для прогнозування тенденцій впливу на навколишнє середовище. Для кількісної картини оцінюваних даних ними використано комбінований SWOT-аналіз і модель аналітичного ієрархічного процесу. На думку авторів процеси прийняття рішень не можуть бути однобічними, оскільки соціальна поведінка є ключовим компонентом для розроблення успішної стратегії щодо практики екологічної оцінки [3].

Програма ООН з довкілля (ЮНЕП) зазначає, що для оцінки застосовують підхід, заснований

на теорії, щоб спочатку встановити причинно-наслідкову логіку втручання людини шляхом перегляду або реконструкції Теорії змін проєкту, і по результату оцінити результативність [4].

Принципи сталого розвитку та врахування соціальних та екологічних критеріїв разом з економічними критеріями розглядали науковці та наголошували на звичайні критерії стійкості, що впливають на ефективність проєкту, а також на рейтинг проєктів для досягнення більш ефективного рішення [5]. Природоохоронні проєкти повинні сприяти в цьому місцевій громаді, як невід'ємній частині цих територій [6].

Аналіз наукових джерел вказує на те, що питання конфліктів між зацікавленими сторонами та їхній вплив на реалізацію екологічних проєктів залишається недостатньо дослідженим. Існуючі роботи, як правило, зосереджені на окремих критеріях оцінки та не пропонують цілісного підходу до їх інтеграції в єдину систему прийняття рішення.

Мета дослідження

Метою роботи є розроблення комплексного підходу до оцінки природоохоронних проєктів шляхом інтеграції екологічних, соціальних, економічних та управлінських критеріїв з врахуванням потенційних конфліктів між зацікавленими сторонами.

Матеріали та методи

Для оцінки успішності реалізації природоохоронних проєктів доцільно застосувати критерії, які пов'язані з інформацією про навколишнє середовище і докази, що сприяють ефективній оцінці та прийняттю управлінських рішень, а саме: екологічна ефективність, соціальна прийнятність, взаємодія з місцевими громадами та зацікавленими сторонами, оцінка фінансової життєздатності проєктів, довгострокове планування, законодавчі аспекти та конфлікти (рис. 1).



Рисунок 1. Критерії оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів

Для ефективної оцінки потенційних результатів та прийняття управлінських рішень всі критерії мають бути інтегровані у загальний процес

управління проектом, а не бути окремими її елементами. Інтеграція запропонованих критеріїв у процесі оцінки впливу на довкілля реалізації



Рисунок 2. Процес інтеграції критеріїв оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів

природоохоронних проєктів є необхідною умовою для забезпечення врахування максимальної кількості факторів, що впливають на успішність проєкту, одночасно зменшує ризик виникнення конфліктів між зацікавленими сторонами.

Екологічні критерії, що використовуються в такій оцінці охоплюють цілу низку факторів, зокрема, зміни у видовому багатстві та різноманітності в період та після реалізації проєкту. Своєчасна та точна оцінка просторових і часових змін якості екологічного середовища допомагає зрозуміти поточний стан екологічного середовища на різних етапах впровадження проєкту, а також забезпечує результативність дослідження здатності екосистем протистояти змінам і відновлюватися після негативних впливів.

Оцінка ступеня залучення громади до процесу прийняття рішень включає аналіз механізмів, які забезпечують участь місцевих жителів у плануванні та реалізації проєктів. Соціальна прийнятність проєкту визначається ставленням громади до проєкту та його впливом на їхнє життя шляхом опитування мешканців, а також аналізу позитивних і негативних очікувань. Важливо визначити, чи готова громада підтримати проєкт та чи відповідає він їхнім потребам та інтересам. Співпраця з неприбутковими організаціями, державними установами та науковими установами забезпечить комплексний підхід до збереження природного середовища через зустрічі, семінари та воркшопи, що сприяє підвищенню ефективності та прозорості процесу оцінки впливу.

Економічні критерії оцінюють фінансову життєздатність проєкту, зокрема проведення аналізу витрат та прибутку для визначення економічної доцільності проєкту. А також, визначення можливостей для забезпечення довгострокового фінансування. Нарешті, обов'язковою є оцінка впливу проєкту на місцеву економіку із врахуванням можливостей створення робочих місць та розвитку інфраструктури.

При застосуванні критерію довгострокового планування в контексті оцінки впливу на довкілля, реалізації природоохоронних проєктів важливо враховувати результати оцінки за попередніми критеріями, оскільки аналіз результатів оцінки екологічних, соціальних та економічних аспектів дозволить виділити найбільш ефективні заходи для досягнення сталої реалізації про-

єкту, а включення громади у процес планування та реалізації забезпечить підтримку проєктів на місцевому рівні для їх успішної реалізації.

Важливим є розгляд потенційних конфліктів, що можуть виникати через протилежні інтереси, недостатню комунікацію, нерівний вплив та соціальну напруженість. Важливо зазначити що конфлікти не використовуються як критерій оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів, що може призводити до недостатньої уваги щодо можливих соціальних напружень та викликів, які можуть виникати в період виконання таких ініціатив. Суперечності, які трапляються між різними сторонами, можуть проявлятися у вигляді конфліктів, за участю великої кількості учасників зокрема, місцевих жителів, фермерів, представників організацій з охорони природи. Такі конфлікти часто виникають через різні інтереси і потреби та ставлять під загрозу співіснування всіх зацікавлених сторін.

Для успішної інтеграції всіх критеріїв оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів пропонується використовувати інтеграційні стратегії, тобто узгодження та поєднання різних аспектів оцінки для досягнення релевантних рішень щодо збереження та відновлення природоохоронних територій (рис. 2).

Оскільки процес інтеграції критеріїв оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів є циклічним і динамічним, це дозволяє постійно вдосконалювати проєкти та адаптувати їх до змінюваних умов і потреб громади.

Очікувані результати та їх практичне значення

1. Покращення управлінських рішень. Інтегрувавши запропоновані критерії забезпечить досягнення релевантних рішень із врахуванням різних аспектів оцінки.

2. Зменшення конфліктів. Дана система оцінки потенційно знизить ймовірності виникнення конфліктів між зацікавленими сторонами, що впливатиме на стабільність проєкту.

3. Підвищення ефективності проєктів. Використання комплексних систем оцінки дозволить зробити проєкти більше ефективними щодо збереження біорізноманіття.

4. Залучення громадськості та всіх зацікавлених сторін. Оцінка соціальної прийнятності реалізації проєкту шляхом залучення місцевих громад та всіх зацікавлених сторін сприяє більш швидкому та легшому процесу реалізації проєкту.

5. Створення моделей для майбутніх проєктів: Розроблені та випробувані інтеграційні стратегії можуть бути використані як зразки для майбутніх природоохоронних проєктів, які можна адаптувати відповідно до специфіки регіону.

Висновки

Комплексний підхід до оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів, що інтегрує запропоновані критерії – екологічна ефективність, соціальна прийнятність, взаємодія з місцевими громадами та зацікавленими сторонами, оцінка фінансової життєздатності проєктів, довгострокове планування, законодавчі аспекти та конфлікти, – є невід’ємною умовою для всебічного аналізу впливу на довкілля.

Список використаних джерел

1. Hannes Jochen König, Sandra Uthes, Emu-Felicitas Ostermann-Miyashita, Luca Eufemia, Karoline Hemminger, Till Hermanns, Claudia Bethwell, Ulrich Stachow, Katharina Helming. UNESCO biosphere reserves show demand

for multifunctional agriculture. *Journal of Environmental Management*. 2022. Volume 320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115790>.

2. Ncube, M.M., Ngulube, P. Enhancing environmental decision-making: a systematic review of data analytics applications in monitoring and management. *Discov Sustain*. 2024. 5, 290. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00510-0>.

3. Iliana Papamichael, Foteini Tsiolaki, Marinos Stylianou, Irene Voukkali, Georgia Sourkouni, Nikolaos Argirusis, Christos Argirusis, Antonis A. Zorpas, *Comptes Rendus. Evaluation of the effectiveness and performance of environmental impact assessment studies in Greece. Chimie, Materials and Clean Processes for Sustainable Energy and Environmental Applications*. 2023. Volume 26. DOI: 10.5802/crchim.218

4. Building capacity for evaluation. UNEP - UN Environment Programme. URL: <https://www.unep.org/evaluation-office/building-capacity-evaluation>

5. RezaHoseini, A. Rahmani, Z. BagherPour, M. Performance evaluation of sustainable projects: a possibilistic integrated novel analytic hierarchy process-data envelopment analysis approach using Z-Number information. *Environ Dev Sustain*. 2022. 24, 3198–3257. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01565-z>

6. Obradović, Sanja & Stojanović, Vladimir & Milić, Dubravka. The importance of understanding the local community's attitude toward nature conservation. URL: <https://europepmc.org/article/ppr/ppr513071>. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1759803/v1>

УДК 621.039.7

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-11>

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ (РАВ) В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

Рибалка Н. В.,¹ Ольховик Ю. О.²¹Державна інспекція ядерного регулювання

вул. Арсенальна, 9-11, м. Київ, 01011

²Київський Національний авіаційний університет

просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058

nv.rybalka@snriu.gov.ua; yolkhovyk@ukr.net

Безпечне поводження з радіоактивними відходами (далі – РАВ) є одним із найважливіших факторів сталого розвитку ядерної енергетики України. Реалізація державної політики та державне управління у сфері поводження з радіоактивними відходами покладено на Державне агентство України з управління зоною відчуження. Наразі стан реалізації більшості із першочергових завдань зі створення цілісної системи поводження з радіоактивними відходами в Україні залишається незадовільним. Відсутність актуалізації заходів Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами унеможливорює ефективну реалізацію завдань щодо забезпечення створення та функціонування цілісної системи поводження з радіоактивними відходами в Україні.

Державним спеціалізованим підприємством «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами» не виконуються/затримуються заходи із створення та функціонування інтегрованої системи поводження з РАВ в Україні.

Актуальною проблемою, що гальмує перспективу розвитку системи безпечного захоронення радіоактивних відходів у Зоні відчуження є відсутність законодавчого закріплення правового режиму зони спеціального промислового використання для спорудження та експлуатації об'єктів, призначених для поводження з РАВ та відпрацьованим ядерним паливом.

Ключові слова: поводження з радіоактивними відходами, зона відчуження, сховища для

захоронення, зона спеціального промислового використання.

Challenges in the functioning of the national radioactive waste management system in the exclusion zone. Rybalka N., Olkhovik Yu.

The safe management of radioactive waste (hereinafter referred to as RAW) is one of the most critical factors for the sustainable development of Ukraine's nuclear energy sector. The implementation of state policy and governance in the field of radioactive waste management is entrusted to the State Agency of Ukraine for Exclusion Zone Management. However, the current progress in implementing the priority tasks for establishing a comprehensive radioactive waste management system in Ukraine remains unsatisfactory. The lack of updates to the National Target Environmental Program for Radioactive Waste Management hinders the effective implementation of measures aimed at ensuring the establishment and functioning of an integrated RAW management system.

A pressing issue that obstructs the prospects for developing a safe radioactive waste disposal system in the Exclusion Zone is the absence of legal provisions establishing the regulatory framework for a special industrial use zone designated for the construction and operation of facilities intended for radioactive waste and spent nuclear fuel management.

Keywords: radioactive waste management, Exclusion Zone, disposal storage facilities, special industrial use zone.

Опис проблеми

Утворення радіоактивних відходів (далі - РАВ) різних типів активності та агрегатного стану є невід'ємним фактором здійснення видів діяльності у сфері використання ядерної енергії, включно з виробництвом енергії на атомній електростанції (АЕС), експлуатації інших ядерних установок та використання джерел іонізуючого випромінювання.

Відповідно до положень Енергетичної стратегії [1] та Стратегії поводження з радіоактивними відходами [2] безпечне поводження з РАВ є одним із найважливіших факторів сталого розвитку ядерної енергетики. Ймовірно подальше застосування радіаційних і ядерних технологій у таких галузях як, медицина, наука та промисловість.

Реалізація державної політики та державне управління у сфері поводження з радіоактивними відходами здійснює Державне агентство України з управління зоною відчуження (далі – ДАЗВ), діяльність якого координує Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Наразі стан реалізації більшості завдань які визначені у Стратегії поводження з радіоактивними відходами та у Загальнодержавній цільовій екологічній програмі поводження з радіоактивними відходами [3] залишається вкрай незадовільним.

Зокрема, це зазначено в першому звіті Пакета розширеної допомоги Європейського Союзу. Також зазначено, що: «В Україні існують регуляторні рамки у сфері поводження з радіоактивними відходами, які потребують подальшого розвитку. В країні досі відсутні плани поводження з радіоактивними відходами».

Натепер ДАЗВ не забезпечило актуалізацію заходів Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами затвердженої Законом України від 17.09.2008 № 516-VI. Період планування завдань та заходів цієї програми завершився у 2017 році, хоча низка необхідних заходів не виконана.

Відповідно до Закону України «Про поводження з радіоактивними відходами» [4] у 2009 р., було створено Державний фонд поводження з РАВ, основним платником податків якого є Акціонерне товариство Національна атомна енергогенеруюча компанія (далі–ДП НАЕК «Енергоатом»). Головним розпорядником Фонду є Державне агентство

з управління зоною відчуження. Загальний обсяг надходження коштів ДП НАЕК «Енергоатом» у Фонд з 2009 року перевищив 11 млрд грн. Кошти Фонду спрямовуються (відповідно до завдань Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами) для спорудження об'єктів які забезпечують безпечне поводження з РАВ діючих АЕС, на стадії їх довгострокового зберігання та захоронення. Станом на кінець 2022 року на комплексі виробництв «Вектор» Державного спеціалізованого підприємства «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами» (далі– ДСП «ЦППРВ») не було створено сховища для прийняття РАВ. За звітний період, на захоронення було прийнято лише 12 м3 твердих РАВ Рівненської АЕС.

Загалом відсутність актуалізації заходів Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами унеможливорює ефективну реалізацію завдань щодо забезпечення функціонування цілісної системи поводження з РАВ. Основним елементом Програми визначено об'єкти які призначені для поводження з РАВ у зоні відчуження для забезпечення централізованого захоронення та довгострокового зберігання РАВ від усього сектору використання ядерної енергії в Україні.

Єдиною експлуатуючою організацією на всіх етапах життєвого циклу сховищ для захоронення радіоактивних відходів яка проводить діяльність з перероблення, зберігання та захоронення радіоактивних відходів на території зони відчуження (крім майданчика ЧАЕС) є підпорядковане ДАЗВ Державне спеціалізоване підприємство «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами» (далі – ДСП «ЦППРВ»).

Внаслідок проведених ДАЗВ суттєвих реорганізацій ДСП «ЦППРВ» та постійних кадрових змін фактично втратило спроможність виконувати у повному обсязі функції експлуатуючої організації відповідно до вимог законодавства (ст. 32, 33 Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку») зокрема у частині наявності ефективної структури управління, кваліфікації персоналу, підвищення безпеки сховищ для захоронення РАВ, проведення оцінки безпеки об'єктів призначених для поводження з РАВ та забезпечення радіаційної безпеки тощо.

Як наслідок вищезгаданого, на початок 2024

року стан діяльності ДСП «ЦППРВ» призвів до наступного:

- відсутні сховища для захоронення упаковок РАВ від діючих АЕС. Така ситуація спричиняє негативні наслідки (безпекові та економічні). Зокрема АЕС змушені зберігати великі обсяги РАВ та вже вироблені упаковки РАВ на майданчиках АЕС, будувати додаткові сховища на майданчиках для тимчасового зберігання упаковок РАВ до їх відправки на захоронення, що створює додаткові ризики щодо експлуатації енергоблоків АЕС, зокрема, при продовженні терміну експлуатації та підвищує експлуатаційні витрати;
- не розпочато ліцензійний процес щодо розширення експлуатації СОПСТРВ (Спеціально обладнаного приповерхневого сховища для захоронення РАВ на майданчику комплексу виробництв «Вектор») на додаткові відсіки; не проведені необхідні ремонтні роботи відсіків, не здійснено аудит безпеки сховища;
- не поновлювався ліцензійний процес щодо експлуатації сховищ для захоронення РАВ ТРВ-1, ТРВ-2 на майданчику комплексу «Вектор» після невидачі ліцензії у 2020 році, на підставі негативних висновків державної експертизи, Звітів з аналізу безпеки сховищ та Критеріїв приймання;
- не розроблено проєкт, не отримано окремий дозвіл від Державної інспекції ядерного регулювання України (далі – Держатомрегулювання) на консервацію сховища для захоронення РАВ № 21А пункту захоронення радіоактивних відходів «Буряківка» (далі – ПЗРВ «Буряківка»), заповнення якого завершилося наприкінці 2023 року. Не проводяться роботи з реалізації будівництва додаткових 6 міжтраншейних сховищ ПЗРВ «Буряківка», відповідно до проєктної документації;
- не розроблено проєкт, не проведено реконструкцію ПЗРВ «Підлісний», в рамках посилення захисних бар'єрів цього об'єкта;
- не завершено роботи з проведення «гарячих» випробувань Централізованого сховища для довгострокового зберігання відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання (ЦСВДІВ), не були усунені дефіцити безпеки щодо конструкцій та обладнання сховища. З 2016 року від початку проведення «гарячих» комплексних випробувань ДСП «ЦППРВ» не були реалізовані плани модифікацій систем важливих для безпеки ЦСВДІВ, не завершено підготовку остаточної ре-

дакції звіту про результати «гарячих» випробувань, не розроблено звіт з аналізу безпеки ЦСВДІВ на етап експлуатація;

- незадовільним є стан реалізації заходів із створення геологічного сховища для захоронення РАВ в Україні. ДСП «ЦППРВ» у 2018 році призначене експлуатуючою організацією (оператором) сховища для захоронення високоактивних і середньоактивних відходів у стабільних геологічних формаціях. Ще не розроблений Національний план геологічного захоронення радіоактивних відходів.

Слід зазначити, що в рамках Міжнародної технічної допомоги Україні, з вересня 2018 року по березень 2021 року було реалізовано проєкт Європейської комісії INSC U4.01/14B+B1 «Розробка національного плану геологічного захоронення радіоактивних відходів в Україні і графіка його реалізації», виконувачем якого було ДСП «ЦППРВ». В результаті реалізації проєкту, на основі передового міжнародного досвіду були розроблені рекомендації які були викладені у Технічному звіті «Розробка детального Національного плану глибокого геологічного захоронення». За результатами експертного розгляду звіту квітні 2022 року Держатомрегулюванням, із залученням українських та європейських експертів (за проєктом ЄК UK/TS/56) були надані пропозиції до розробки конкретного проєкту Національного плану дій щодо створення, експлуатації та закриття геологічного сховища.

В результаті не виконуються/затримуються заходи із створення та функціонування інтегрованої системи поводження з РАВ, ключовим елементом якої визначено – об'єкти, призначені для поводження з РАВ у зоні відчуження, для забезпечення централізованого захоронення та довгострокового зберігання РАВ від усього сектору використання ядерної енергії.

Надзвичайно актуальною проблемою, що гальмує перспективу розвитку системи безпечного захоронення РАВ у Зоні відчуження є відсутність законодавчого закріплення правового режиму зони спеціального промислового використання для спорудження та експлуатації об'єктів, призначених для поводження з РАВ та ВЯП. Підготовка та супровід відповідного законопроєкту належить до компетенції Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України та ДАЗВ.

Зазначена зона має бути визначена на території зони відчуження та визнана довічно непридатною для постійного проживання населення, що визначено Указом Президента України від 23.03.2021 № 111 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23.03.2021 «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації» та Указом Президента України від 13.04.2016 р., № 141/2016 «Про додаткові заходи щодо перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему та відродження територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи».

Методологія розрахунку доз або ризиків для населення у віддалений час після закриття сховища припускає, що населення в майбутньому може піддатися опроміненню в результаті впливу деяких природних процесів, які можуть вплинути на надійність сховища. З огляду на існуючий стан забруднення довгоживучими радіонуклідами ближньої зони, в якій розташовані приповерхневі сховища та об'єкти для поводження з РАВ. Зазначений рівень забруднення території виключає проживання населення протягом періоду, що порівняний з часом досягнення безпечного рівня активності у відходах, розміщених у приповерхневих сховищах. Ці обставини виключають застосування консервативних референтних сценаріїв, які наведені у НРБУ-97/Д-2000 [5], а саме:

- постійне проживання та можливе забруднення території;
- постійне проживання на території та можливі види діяльності людини (будівництво доріг, спорудження житла, буріння свердловин через тіло сховища, використання водних ресурсів тощо) та відповідно, виключає необхідність розрахунку дозових навантажень.

Глобальні зміни клімату у довгостроковому масштабі можуть призвести до значного підвищення гідрогеоміграції радіонуклідів внаслідок збільшення рівня опадів і ландшафтних змін у зоні відчуження. Прогнози техногенних загроз приповерхневих сховищ для захоронення радіоактивних відходів повинні бути змістовно і фізично коректні з моделями і часовим масштабом впливу на населення, що потребує чіткої визначеності щодо просторових координат зони спеціального промислового використання для спо-

рудження та експлуатації об'єктів, призначених для захоронення РАВ.

Вищезазначене свідчить про неможливість застосування дозової оцінки довготривалої безпеки приповерхневого захоронення на території, яка довічно непридатна для проживання населення. Вилучивши назавжди зону спеціального використання з обігу та проживання (із безумовним збереженням інформації, даних та соціальної пам'яті про цю територію для наступних поколінь), референтні сценарії впливу захоронення РАВ у довгостроковій перспективі можна розглядати тільки на межі такої зони. Це дозволить реально обґрунтувати безпеку захоронення усього обсягу РАВ від усіх виробників РАВ у сфері використання ядерної енергетики в Україні – аварійних (наявних, Чорнобильського походження), експлуатаційних РАВ АЕС (включно з ЧАЕС) та інших ЯУ, від зняття їх з експлуатації та від використання ДІВ.

Держатомрегулювання і наукова спільнота неодноразово наполягали на необхідності закріплення на державному рівні особливого статусу території спеціального промислового використання на території зони відчуження, який передбачав би довічне виключення її для постійного проживання населення з метою її ефективного використання у господарському і ядерно-енергетичному комплексах та захисту наступних поколінь. Наявність такої зони має забезпечити вирішення завдання захоронення на території зони відчуження радіоактивних відходів від усієї галузі використання ядерної енергії в Україні, як це передбачено Стратегією поводження з РАВ.

З огляду на зазначене, насторожує сучасне відношення суспільства і ДАЗВ до використання Зони відчуження як до об'єкту екзотичного та екстремального туризму. Після виходу телевізійного серіалу НВО «Чорнобиль» зона відчуження фіксувала рекордні показники відвідувань: за 2019 рік там побували близько 130 тисяч туристів. Українська влада і туроператори пророкували Чорнобилью небувалий розквіт: у тому ж 2019 році Президент В. Зеленський підписав указ про розвиток туризму в Чорнобильській зоні [6]. Наразі знову з'являються сподівання на відкриття зони і відновлення туристичних маршрутів [7]. За словами Міністра захисту довкілля та природних ресурсів України «Після перемоги України туристичний інтерес буде зростати, а з ним

і кількість охочих побачити місця, що зазнали впливу мирного атому, а далі російської варварської окупації» [8].

На думку авторів статті, така позиція Міністерства та ДАЗВ формує хибну думку про безпечність цієї території, яка для пересічного відвідувача (туриста) постає як територія з квітучою природою, що не несе жодної небезпеки для здоров'я та життя. Така позиція не виправдана з точки зору радіаційного захисту та оптимізації доз опромінення населення. Водночас відсутня діяльність органів державного управління що законодавчого закріплення правового режиму зони спеціального промислового використання для спорудження та експлуатації об'єктів, призначених для поводження з РАВ та ВЯП.

Висновки

1. Сучасний стан реалізації завдань та заходів із створення та функціонування системи поводження з радіоактивними відходами у зоні відчуження є вкрай незадовільним.

2. ДАЗВ та ДСП «ЦППРВ» не в повному обсязі забезпечують реалізацію необхідних заходів щодо створення та функціонування елементів інтегрованої системи поводження з РАВ в Україні на етапі їх довгострокового зберігання та захоронення відповідно до Стратегії поводження з радіоактивними відходами в Україні, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19.08.2009 р., № 990-р, та Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами. Непрофесійні дії керівництва центральних органів виконавчої влади, відповідальних за формування та реалізацію державної політики у сфері поводження з РАВ (Міндовкілля та ДАЗВ) призводить до порушення одного з основних принципів безпеки при поводженні з РАВ - захисту наступних поколінь.

3. Актуальною задачею є:

- актуалізація заходів Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами;
- цільове використання коштів Фонду поводження з РАВ для спорудження об'єктів, призначених для поводження з РАВ та відповідної інфраструктури, які мають забезпечувати безпечне поводження з РАВ діючих АЕС України

на стадії їх довгострокового зберігання та захоронення;

- забезпечення відповідної кваліфікації посадових осіб ДАЗВ і ЦППРВ, які мають право здійснювати організаційно-розпорядчі функції, пов'язані із забезпеченням ядерної та радіаційної безпеки;
- законодавче закріплення особливого статусу зони спеціального промислового використання на території зони відчуження з метою її ефективного використання у господарському і ядерному комплексах та захисту наступних поколінь.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р. https://ips.ligazakon.net/document/view/kr230373?ed=2023_04_21.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2009 р. № 990-р. Електронний ресурс: <https://www.kmu.gov.ua/npas/237434106>
3. Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами : Закон України від 17 вересня 2008 року № 516-VI. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/516-17#Text>.
4. «Про поводження з радіоактивними відходами» Закон України від 30 червня 1995 року № 255/95-ВР Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80#Text>
5. Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000. Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Електронний ресурс: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1039.8664.0>
6. Указ Президента України «Про деякі питання розвитку територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» від 10 липня 2019 року №512/2019 Електронний ресурс: <https://www.president.gov.ua/documents/5122019-28317>
7. Електронний ресурс: <https://expedicia.org/chornobilska-zona-turizm-ta-yaderniy/>
8. Електронний ресурс: <https://www.kmu.gov.ua/news/peretvoryty-zonu-vidchuzhennia-naterytoriiu-bezpechnoho-vidrodzhennia-ta-rozvytku-urriad-skhvalyv-zakonoproekt>

ОЦІНКА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МИЙОК (НА ПРИКЛАДІ МЕРЕЖІ АЗК «ОККО»)

Демчук Л. І.¹, Давидова І. В.², Войналович І. М.³, Корбут М. Б.⁴

^{1, 2, 3} Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

ke_dlm@ztu.edu.ua

⁴Національний університет «Львівська політехніка»

Питання очищення стічних вод є досить актуальним завжди, особливо на даний період часу. Це пояснюється збільшенням кількості підприємств, забрудненням природних над- та підземних водойм, автомобільного транспорту, зокрема і автозаправних станцій (АЗС).

У статті розглянуто питання очищення стічних вод мийок на прикладі мережі АЗК «ОККО». Автори досліджують ефективність існуючих методів очищення стічних вод, аналізують їх переваги та недоліки, а також пропонують шляхи удосконалення системи очищення стічних вод на АЗК «ОККО» з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Проаналізовано ефективність існуючих методів очищення стічних вод на автомобільних мийках, зокрема на АЗК «ОККО». Автори досліджують різні технології, такі як механічне очищення, фізико-хімічне очищення та біологічне очищення та їх вплив на якість очищеної води.

У статті також наведено аналіз характеристик стічних вод з автомобільних мийок, зокрема вміст забруднюючих речовин, таких як нафтопродукти, поверхнево-активні речовини (ПАР) та завислі речовини. Автори оцінюють вплив цих забруднювачів на навколишнє середовище та здоров'я людини.

На основі проведеного аналізу автори статті пропонують рекомендації щодо вибору оптимальних методів очищення стічних вод для конкретних умов експлуатації автомобільних мийок. Також наголошується на необхідності регулярного контролю якості очищеної води та дотримання вимог екологічного законодавства. Проаналізовано

загальні принципи очищення стічних вод на АЗС та про те, як можна оцінити ефективність цього процесу. На АЗС утворюються різні види стічних вод, зокрема: дощові та талі води, що стікають з території АЗС, можуть містити забруднення, такі як нафтопродукти, важкі метали та інші речовини; води, що утворюються під час миття автомобілів, прибирання приміщень тощо. Роз'яснено, що ефективність очищення стічних вод є критично важливим аспектом для збереження екологічного балансу та здоров'я населення. Оцінка цієї ефективності дозволяє контролювати якість очищення та вдосконалювати технології для досягнення найкращих результатів.

Тому процес очищення стічних вод на даний час, має вагоме значення у зв'язку з проблемою забруднення природних надземних та підземних водойм, оскільки, у світі щоденно зменшується кількість питної води. Необхідно використовувати різні ефективні методи для усунення забруднень в стічних водах. Для того, щоб згодом очищену воду можна скидати до водойм потрібно проводити повне очищення або ж провести очищення до технічної води, для повторного використання на АЗС або підприємстві.

Мета статті є процес очищення емульгованих стічних вод автозаправних станцій шляхом відстоювання та методом флотації.

Наукова новизна

Отримані результати показали, що очищення емульгованих стічних вод автозаправних стан-

цій з мийкою мережі «ОККО» може ефективно відбуватися на очисних спорудах АЗС шляхом тимчасового відстоювання та методом пневматичної флотації. Особливо високі показниками одержані під час флотації стічних вод АЗС з мийкою, оскільки миючі засоби, що потрапляють у стічні води, є флотореагентами або ефективними добавками до флотореагентів в процесі флотації таких стічних вод на установці пневматичної флотації. Це економить флотореагенти і підвищує ступінь очищення стічних вод АЗС. Очищені стічні води можна використовувати на АЗС для технічних цілей або доочищати шляхом адсорбції для скидання у природні водойми, дотримуючись нормативних вимог для скидання очищеної води.

Практичне значення

Ґрунтуючись на отриманих результатах можна рекомендувати створення очисних споруд загального типу на АЗС з мийкою для очищення стічних вод, що там утворюються. Як ефективні методи для цих очисних споруд можна рекомендувати відстоювання в часі, реагентну флотацію на установці пневматичного типу та сорбцію для доочищення стічних вод.

Ключові слова: очищення стічних вод, автотомийки, екологічна безпека, водні ресурси, забруднення води, АЗС «ОККО», сталий розвиток.

Assessment of car wash wastewater treatment (on the example of OKKO petrol station network). *Demchuk L. I., Davydova I. V., Voynalovych I. M.*

The issue of wastewater treatment has always been quite relevant, and especially so in the current period of time. This is due to the increase in the number of enterprises, pollution of natural surface and underground water bodies, road transport, and with it petrol stations, etc.

The article considers the issue of car wash wastewater treatment on the example of the OKKO petrol station chain. The authors study the efficiency of existing methods of wastewater treatment, analyse their advantages and disadvantages, and suggest ways to improve the wastewater treatment system at OKKO filling stations in order to minimise the negative impact on the environment. The effectiveness

of existing methods of wastewater treatment at car washes, in particular at OKKO filling stations, is analysed. The authors examine various technologies, such as mechanical treatment, physical and chemical treatment, and biological treatment, and their impact on the quality of treated water.

The article also analyses the characteristics of car wash wastewater, including the content of pollutants such as oil products, surfactants and suspended solids. The authors assess the impact of these pollutants on the environment and human health.

Based on their analysis, the authors offer recommendations on the selection of optimal wastewater treatment methods for specific operating conditions of car washes. They also draw attention to the need for regular monitoring of the quality of treated water and compliance with environmental legislation. The article analyses the general principles of wastewater treatment at petrol stations and how to assess the efficiency of this process. Various types of wastewater are generated at filling stations, including: rain and melt water that flows from the territory of the filling station and may contain contaminants such as oil products, heavy metals and other substances; water generated during car washing, cleaning of premises, etc. It is explained that the efficiency of wastewater treatment is a critical aspect for maintaining the ecological balance and public health. Assessment of this efficiency allows to control the quality of treatment and improve technologies to achieve the best results.

Therefore, the process of wastewater treatment is currently of great importance due to the problem of pollution of natural surface and underground water bodies, as the amount of drinking water in the world is decreasing every day. Various effective methods need to be used to eliminate contaminants in wastewater. In order for this treated water to be discharged into water bodies, it is necessary to carry out full treatment or to treat it to process water for reuse at a petrol station or enterprise.

Summing up all of the above, the treatment of stable wastewater from car washes at OKKO filling stations is a rather important stage for environmental protection and the ecological situation in the world as a whole, which is why it has become the subject of study in this paper.

The purpose of the article is to study the process of treatment of emulsified wastewater from petrol stations by settling and flotation.

Scientific novelty. The obtained results showed that the treatment of emulsified wastewater from petrol stations with a car wash of the OKKO network can be effectively carried out at the treatment facilities of petrol stations by settling in time and by pneumatic flotation. Particularly high results are obtained during the flotation of wastewater from filling stations with car washes, as the detergents that enter the wastewater are flotation agents or effective additives to flotation agents in the process of flotation of such wastewater at a pneumatic flotation unit. This saves flotation agents and increases the degree of treatment of petrol station wastewater. The treated wastewater can be used at the filling station for technical purposes or further treated by adsorption for discharge into natural water bodies, in compliance with the regulatory requirements for discharging treated water.

Practical significance. Based on the results obtained, it is possible to recommend the creation of a general type of wastewater treatment plant at a petrol station with a sink for the treatment of wastewater generated there. Time settling, reagent flotation on a pneumatic unit and sorption for wastewater treatment can be recommended as effective methods for these treatment facilities.

Keywords: wastewater treatment, car washes, environmental safety, water resources, water pollution, OKKO filling stations, sustainable development.

Постановка проблеми

Мережа автозаправних комплексів «ОККО» є однією з найбільших в Україні. З ростом кількості автомобілів та збільшенням кількості подібних АЗК, набуває особливої актуальності питання очищення стічних вод мийок.

Проблема полягає в тому, що стічні води з мийок АЗК містять різноманітні забруднюючі речовини, які можуть негативно впливати на навколишнє середовище та здоров'я людей [1]. У зв'язку з цим, оцінка ефективності очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» є критично важливою для забезпечення екологічної безпеки та запобігання негативному впливу на навколишнє середовище. Для вирішення цієї проблеми необхідно було: провести аналіз існуючої системи очищення стічних вод; оцінити

технології очищення, які використовуються на різних АЗК та визначити їх ефективність; визначити основні джерела забруднення стічних вод; ідентифікувати основні види забруднюючих речовин та їх концентрацію у стічних водах; розробити та впровадити ефективні методи очищення стічних вод; підібрати оптимальні технології очищення, які забезпечать високу якість очищеної води та будуть економічно обґрунтованими; провести моніторинг якості очищених стічних вод: регулярно контролювати якість очищеної води та оцінювати ефективність роботи очисних споруд [2].

Отже, оцінка очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» є важливою та актуальною проблемою, вирішення якої потребує комплексного підходу та співпраці між компанією, науковцями та громадськістю.

Актуальність дослідження оцінки очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» зумовлена основними факторами:

1) Збільшення кількості автомобілів на дорогах призводить до збільшення забруднення навколишнього середовища, зокрема водних ресурсів. Стічні води з автомобільних мийок містять різноманітні забруднюючі речовини, такі як: нафтопродукти, миючі засоби, важкі метали та інші хімічні сполуки, які можуть негативно впливати на екосистеми та здоров'я людини.

2) В умовах зростаючої екологічної свідомості суспільства та посилення державного регулювання в сфері охорони навколишнього середовища, питання очищення стічних вод набуває особливої актуальності. Підприємства, зокрема мережі АЗК, зобов'язані дотримуватися встановлених нормативів якості води та забезпечувати ефективне очищення стічних вод для запобігання забрудненню довкілля.

3) У контексті концепції сталого розвитку, питання екологічної відповідальності бізнесу є ключовим. Оцінка та оптимізація процесів очищення стічних вод на АЗК «ОККО» є важливим кроком на шляху до зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення сталого функціонування підприємства.

4) Недостатньо ефективне очищення стічних вод може призвести до негативних наслідків для репутації компанії, втрати довіри з боку споживачів.

вачів та партнерів, а також до фінансових втрат через штрафні санкції та судові позови.

5) Можливість повторного використання води: Ефективні технології очищення стічних вод можуть дозволити повторно використовувати очищену воду для технічних потреб (полив зелених насаджень, миття обладнання тощо). Це сприятиме зменшенню споживання прісної води та збереженню водних ресурсів.

6) Розвиток сучасних технологій очищення стічних вод відкриває нові можливості для підвищення ефективності та економічної доцільності очисних процесів. Дослідження та впровадження таких технологій на АЗК «ОККО» може стати прикладом для інших підприємств галузі та сприяти поширенню кращих практик у сфері охорони навколишнього середовища.

З огляду на вищезазначені фактори, дослідження оцінки очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» є актуальним та важливим з точки зору екологічної безпеки, сталого розвитку та підвищення конкурентоспроможності підприємства [3]. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації процесів очищення стічних вод, зменшення негативного впливу на довкілля та забезпечення відповідності діяльності АЗК «ОККО» вимогам законодавства та кращим екологічним стандартам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з оцінки очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» є важливим етапом для розуміння сучасного стану проблеми та визначення шляхів її вирішення. На жаль, спеціалізованих досліджень, присвячених виключно мережі АЗК «ОККО», у відкритому доступі, обмежена кількість. Це пов'язано з тим, що така інформація часто є комерційною та конфіденційною.

Проте, існує низка загальних досліджень та публікацій, які стосуються очищення стічних вод мийок, що можуть бути корисними для аналізу ситуації і на АЗК «ОККО».

Новизна

Отримані результати показали, що очищення емульгованих стічних вод автозаправних станцій з мийкою мережі «ОККО» може ефективно

відбуватися на очисних спорудах АЗС шляхом тимчасового відстоювання та методом пневматичної флотації. Особливо високі показниками отримані під час флотації стічних вод АЗС з мийкою, оскільки миючі засоби, що потрапляють у стічні води, є флотореагентами або ефективними добавками до флотореагентів в процесі флотації таких стічних вод на установці пневматичної флотації. Це економить флотореагенти і підвищує ступінь очищення стічних вод АЗС. Очищені стічні води можна використовувати на АЗС для технічних цілей або доочищати шляхом адсорбції для скидання у природні водойми, дотримуючись нормативних вимог для скидання очищеної води.

Методологічне значення оцінки очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» полягає в тому, що вона забезпечує науково обґрунтований підхід до вирішення важливої екологічної проблеми. Оцінка очищення стічних вод передбачає комплексний аналіз усіх факторів, що впливають на ефективність очисних процесів. Це включає в себе вивчення характеристик стічних вод, технологій очищення, критеріїв оцінки, методів аналізу та екологічних вимог. Системний підхід дозволяє отримати повну та об'єктивну картину стану очищення стічних вод на АЗК «ОККО» та визначити шляхи його покращення. Методологія оцінки очищення стічних вод базується на наукових принципах та методах дослідження. Використання лабораторних методів аналізу, статистичної обробки даних та моделювання дозволяє отримати достовірні та об'єктивні результати. Наукова обґрунтованість забезпечує об'єктивність та незалежність оцінки, що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень. Оцінка очищення стічних вод є важливим інструментом для запобігання забрудненню водних ресурсів та збереження екологічного балансу. Результати дослідження можуть сприяти зменшенню негативного впливу на екосистеми та здоров'я людини, а також забезпечити сталий розвиток підприємства. Методологія оцінки очищення стічних вод враховує вимоги чинного законодавства та нормативних документів у сфері охорони навколишнього середовища. Це забезпечує відповідність діяльності АЗК «ОККО» встановленим стандартам якості води та екологічної безпеки.

Оцінка очищення стічних вод має також практичне значення для підвищення ефективності очисних споруд та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Результати дослідження можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів, модернізації обладнання та впровадження кращих практик у сфері очищення стічних вод.

Дослідження оцінки очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» має важливе загальнонаукове значення, оскільки сприяє розвитку та поглибленню знань у галузі екології, охорони навколишнього середовища та очищення стічних вод. Дослідження процесів очищення стічних вод на конкретному прикладі мережі АЗК «ОККО» може сприяти розвитку загальної теорії очищення стічних вод. Результати дослідження можуть бути узагальнені та використані для розроблення нових, більш ефективних методів та технологій очищення, які можуть бути застосовані в інших галузях промисловості та комунального господарства. Удосконалення методів аналізу та контролю якості води передбачає використання сучасних методів аналізу для оцінки якості стічних вод та ефективності очищення. Отримані дані можуть сприяти удосконаленню існуючих методів аналізу та розробленню нових, більш точних та чутливих методів контролю якості води. Вивчення впливу забруднюючих речовин на навколишнє середовище дозволяє отримати цінну інформацію про види та концентрації забруднюючих речовин, які потрапляють у навколишнє середовище [11–13]. Ці дані можуть бути використані для оцінки впливу цих речовин на екосистеми, здоров'я людини та біорізноманіття. Результати дослідження можуть бути використані для розроблення та впровадження екологічно безпечних технологій очищення стічних вод, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище та сприяють збереженню водних ресурсів [14]. Дослідження оцінки очищення стічних вод на АЗК «ОККО» є внеском у досягнення цілей сталого розвитку, зокрема цілі №6 «Чиста вода та належні санітарні умови» та цілі №12 «Відповідальне споживання та виробництво» [17]. Загалом, дослідження оцінки очищення стічних вод мийок на мережі АЗК «ОККО» має значний потенціал для збага-

чення наукових знань, розвитку технологій очищення води, поліпшення екологічної ситуації та сприяння сталому розвитку.

Виклад основного матеріалу

Автозаправні станції (АЗС) – це станції, де відбувається заправка транспорту різних марок. Зазвичай, вони знаходяться на шосе, в місцевості, де немає або дуже мало людей.

АЗС можуть бути суто заправними станціями (з мийкою), де використовують миючі засоби, що здатні стабілізувати ці води. Саме тому процес очищення стічних вод об'єкта такого типу є складним. Найчастіше в ізольованих місцях немає каналізаційних стоків, а регулярне очищення дуже дороге. Також особлива увага приділяється очищенню стічної води від нафтопродуктів. Слід зауважити, що натеper зростає кількість транспортних підприємств, які створюють очисні споруди на своїх АЗС [4, 5].

На даних об'єктах утворюються різного типу стічні води. Можуть бути побутові забруднення стічних вод, паливні, що стабілізовані миючими засобами (заправка та мийка). Стічні води автозаправних станцій можуть містити такі види забруднень: дисперсні забруднення (пісок, глина, ґрунт), нафтопродукти (здебільшого в емульгованому стані та незначну їх частину – до 0,03 мг/л або г/м³ в розчиненому стані, а також поверхнево-активні речовини (ПАР) як емульгатори та стабілізатори стічної води [6].

Починаючи з початкового етапу проектування АЗС потрібно передбачати заходи, які не допускають змішування талих та дощових стічних вод зі специфічними стоками автозаправних станцій та їх потрапляння в природні водойми та ґрунт.

На території автозаправних станцій виділяють кілька типів джерел забруднення поверхневого стоку, а саме: наземні джерела забруднення (потрапляння водорозчинних фракцій нафтопродуктів з територій автозаправних станцій через поверхні, які не покриті асфальтовим покриттям це тріщини в покриттях, газони тощо; підземні джерела забруднень (нестача води в системі забруднених стоків з колодязів, що приймають дощову воду або з внутрішніх водозбірних мереж [10, 15, 16].

На автозаправних станціях повинні бути побутові, виробничо-дошові каналізації та спеціальні каналізації (для відділення вод, які забруднені етиловими бензинами) очисних споруд.

На АЗС використовують локальні очисні споруди, на яких встановлюють, загалом, наступне обладнання: нафтовловлювачі, пісковловлювачі, флотаційні установки, станції нейтралізації стічної води тощо. Локальні очисні споруди забезпечують очищення забруднених стічних вод до такого ступеня очищення, при якому можна скидати очищені води у міську, районну чи територіальну каналізаційну систему, відповідно до вимог нормативних документів для їх повного очищення [7].

Аналітичні дані стоків автозаправних станцій показують, що забруднювачі таких вод є складними, багатокомпонентним і часто значно перевищують показники ГДК.

Основні забруднюючі речовини автозаправних станцій – це зважені речовини (до 250 мг/л чи г/м³) та нафтопродукти (до 350 мг/л чи г/м³). Нафтопродукти спричиняють негативний вплив на біосистеми природних водойм, оскільки вони токсичні [15]. Зважені речовини в стоках АЗС - це нерозчинні у воді частинки бруду, в складі яких мул, глина, пісок, суспендовані мікроорганізми, неорганічні та органічні речовини. Різний вміст завислих частинок в стоках автозаправних станцій пов'язаний з режимом поверхневого стоку, сезонними факторами, складом рельєфу місцевості, термінами танення снігу, щільністю забудови і антропогенними факторами. Також

варто відзначити, що саме промислові стічні води мають найбільшу небезпеку для навколишнього середовища. Оскільки це пов'язано з тим, що саме в них містяться сильнодіючі отруйні речовини (до прикладу, відходи радіоактивного походження, ціаніди, фосфорорганічні сполуки), вони можуть в дуже малих кількостях повністю знищити життєві форми потягом тривалого періоду на великих територіях.

Оскільки склад забруднень нафтовмісних стічних вод є значно різноманітним, вимоги до ступеня очищення цих вод – високі, то в технологічних схемах очисних споруд використовують, як правило, комбінації різних методів очищення.

На рисунках 1 та 2 наведені принципові схеми очищення стічної води в залежності від її використання [5].

Технологічна схема очищення стічних вод може бути різною залежно від використання очищеної води. Якщо очищена вода використовується підприємством як технічна, то її можна не доочищати до рівня води (за нормативними вимогами) яку скидають у природну водойму.

Відповідно до цього і технологічна схема очищення може бути короткою, без етапу доочищення. У меншій технологічній схемі отримуємо технічну воду, яка потім повторно використовується на АЗС.

Проте, якщо очищена вода скидається у природні водойми, то її характеристики повинні відповідати нормативним документам, які дають дозвіл на скидання очищеної води у природні водойми. Тому, для очищення такого типу води

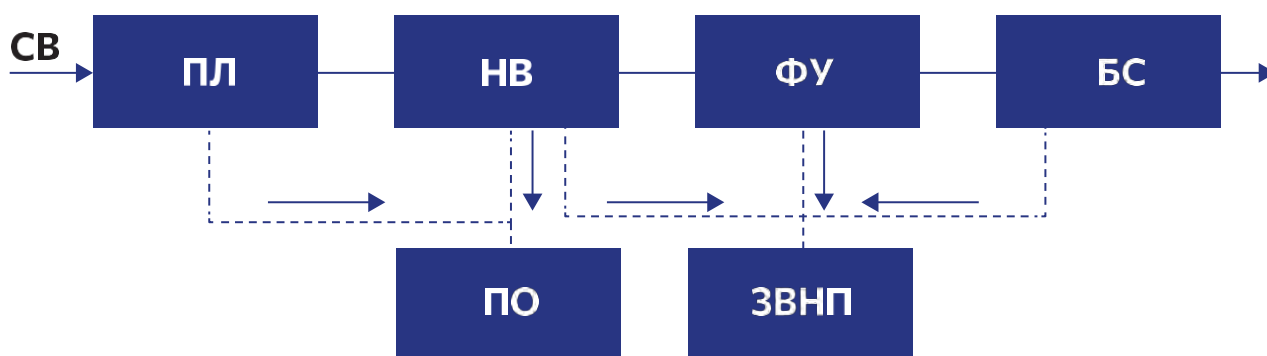


Рисунок 1. Принципова технологічна схема очищення стічних вод від нафтопродуктів до рівня технічної води: СВ – стічна вода; ПЛ – пісковловлювач; НВ – нафтовловлювач; ПО – площа для осаду; ЗВНП – збірник вловлених нафтопродуктів; БС – буферний ставок; ФУ – флотаційна установка.

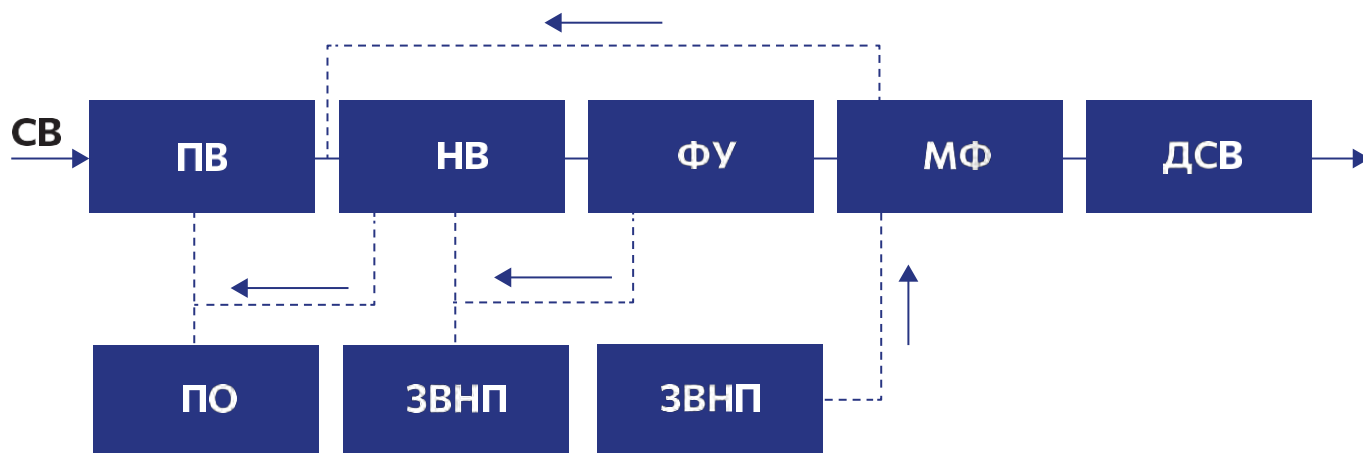


Рисунок 2. Принципова технологічна схема очищення стічних вод від нафтопродуктів до параметрів очищеної води, яку можна скидати у водойму: СВ – стічна вода, ПВ – пісковловлювач, НВ – нафтовловлювач, ФУ – флотаційна установка, МФ – механічний фільтр, ДСВ – доочищення стічної води (адсорбція), ПФ – площа для осаду, ЗВНП – збірник вловлених нафтопродуктів, РГВ – резервуар гарячої води.

потрібно використовувати довгу технологічну схему очищення з використанням етапу доочищення. Чим довша технологічна схема, тим більше відбувається очищення стічної води, завдяки етапу доочищення яку потім можна зливати у водойми.

Дослідження процесу очищення стічних вод автозаправних станцій відбувалося методом пневматичної флотації та тимчасового відстоювання. Метод відстоювання – це процес, при якому відбувається повільне, поступове розшарування рідкої частини на складові фаз. Все це відбувається під дією сили тяжіння та проходить за певний проміжок часу. Час залежить від ступеню забруднення, швидкості розділення тощо. Цей процес є невід’ємним етапом в очищенні стічних вод. Оскільки саме на даному етапі, видаляються домішки що спливають і можна отримати речовину, яка потрібна для досліджень [7]. Принцип полягає в тому, що застосовуються гравітаційна та відцентрова сили за допомогою яких більші часточки (важчі) опускаються на дно, а менші, легші підіймаються на поверхню рідини та, в подальшому, видаляються.

Проте, процес відстоювання займає багато часу, тому що рідина чи суміш в механічних установках рухається повільно, оскільки збільшена швидкість уповільнює осідання частинок. Але

для покращення ступеня розшарування застосовують коагулянти і флокулянти. Оскільки саме ці речовини допомагають частинкам «з’єднуватись» у більші, як наслідок, процес розділення відбувається значно швидше [8, 9].

Флотаційний метод – це один з різновиду методів для очищення стічних вод, видалення та розділення домішок. Цей метод використовують при усуненні суспензій чи органічних речовин. Він застосовується в різних видах діяльності людей, зокрема в хімічній, нафтопереробній, гідро-очисній та харчовій галузях промисловості.

Принцип проведення даного методу полягає у взаємодії гідрофільних та гідрофобних часточок. При цій взаємній дії бульбашок води та повітря ці часточки спливають на поверхню. Щоб це відбулося, користуються реагентами які утворюють піну, наприклад поверхнево-активні речовини (ПАР) [10].

Даний процес оснований на розшаруванні твердих частинок, які є різними речовинами і відбувається виділення крапель диспергуванні рідини чи дисперсної фази, які ґрунтуються на їх певній відмінній змочуваності та можливості збиратись на поверхні розділу фаз. Проте, лише за часткового змочування поверхні частинок, може відбуватися даний метод і флотуватися рідиною. Це здійснюється додавання конкретної кількості

певних визначених речовин. Продуктами флотації являються пінні та камерні продукти.

Основним етапом даного процесу називають найлегшу стадію флотації, вона ґрунтується на тому, що частинки прикріплюються на поверхні розділу фаз поодиноких частинок. Саме наявність найпростішої чи найлегшої фази визначає властивість поверхонь розділу даних фаз: та рідина-газ (вода-повітря) і рідина-тверде тіло (вода-мінерал). Підготовка мінеральної частини поверхні до даного процесу відбувається до подавання деяких певних речовин, що призводять і показують вагоме зменшення гідрофільності нефлотаційних частинок та гідрофобності флотаційних.

Висновки

При постійному зростанні парку автомобільних засобів, боротьба з втратами нафтопродуктів є одним з актуальних напрямків. Роботи в цьому напрямку проводяться в усьому світі та мають певні результати. Одним з напрямків зниження негативного впливу автотранспорту та діяльності АЗС є посилення нормативів на шкідливі викиди при роботі двигуна, що може бути досягнуто за рахунок якісної зміни палива. Найбільша маса викидів парів бензину припадає на процес зливу бензину в ємкості АЗС та заправлення автомобілів. При цьому, слід враховувати, що хімічні сполуки, що утворюються в атмосфері в результаті фотохімічних реакцій під впливом сонячних променів, більш токсичні ніж пари вихідного палива. Необхідно відзначити, що нафтопродукти що випускаються і застосовуються в промислово розвинених країнах, викидають шкідливих речовин в 10–15 разів менше, ніж 10–15 років тому. При цьому, постійно розширюється список речовин, вміст яких повинен знаходитися під особливим контролем.

Загалом можна виділити правила для зменшення негативного впливу АЗС на навколишнє середовище та людей, а саме: збільшити економичність палива і екологічність автомобілів; припинити викид забруднених стічних вод; удосконалити способи очищення стічних вод; зменшити витрату хімічних миючих засобів; впроваджувати на АЗС різні системи заміни масла;

суворо дотримуватися вимог які передбачені при прийманні, зберіганні різних видів нафтопродуктів; знизити рівень шуму; повторне використання відпрацьованих нафтопродуктів.

Виконуючи перераховані вище дії можна цілком реально знизити негативний вплив АЗС на людину та навколишнє середовище. Отже, просте дотримання правил експлуатації АЗС – це саме те, що може зробити будь-який власник автомобіля, тим самим убезпечивши себе та оточуючих.

Список використаних джерел

1. Свердлов І. Ш. Очищення стічних вод автозаправних станцій. Водопостачання та санітарна техніка: матеріали наук.-практ. конф. 2018 р. С. 25-26.
2. Бусигіна Г. А. Тенденція контролю викидів і якості роботи АЗС. Нац. техн. у-ст України КПІ ім. І. Сікорського. 2019. Вип. 12. С. 252-254
3. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019-2001: Наказ Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації від 19.11.2001 № 552. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN4382.html (дата звернення: 12.02.2025)
4. Івасенко В. М. Оцінка впливу автозаправних станцій на навколишнє середовище. Механіко-технологічні системи та комплекси. 2017. № 16 (1238). С. 123-131.
5. Долина Л. Ф. Сучасна технологія та споруди для очищення нафтовмісних стічних вод: монографія. Дніпропетровськ: Континент. 2015. 296 с.
6. Мапа автозаправних комплексів. URL: <https://socar.ua/map> (дата звернення 10.02.2025).
7. Volodchenkova N. Risk analysis of emergency situations in the food industry as a factor in increasing danger of their functioning. Ukrainian Food Journal. 2013. 2(2). P. 75-79.
8. Очисні споруди АЗС. URL: <https://www.voda.ru/articles/ochistnye-azs/ochistnye-sooruzheniya> (дата звернення 11.02.2025).
9. Гомеля М. Д., Калабина Л. В., Хохотва О. П. Вибір оптимальних умов коагуляційного очищення нафтовмісних стічних вод. Екотехнології і ресурсозбереження: матеріали наук.-практ. конф. 2020 р. С. 45-46.

10. Комплексні очисні споруди. URL: <http://greenengineering.ru/premium-quality/complex-ochistka/livneblocks/valdaj-dozhd/> (дата звернення: 11.02.2025).
11. Павлюх Л. І., Зубченко О. М. Аналіз методів для видалення нафтопродуктів із водного середовища. Екологічна безпека держави : матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів. (Київ, 17–20 квітня 2017 р.). Київ: НАУ, 2017. С. 84–86.
12. Тарадуда Д. В. Аналіз існуючої методологічної бази з оцінки небезпеки потенційно-небезпечних об'єктів. Національний університет цивільного захисту України. URL: [http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Conferences/ProblemsOfTechnogenicAndNatural Security/Taraduda_Shevchenko.pdf](http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Conferences/ProblemsOfTechnogenicAndNaturalSecurity/Taraduda_Shevchenko.pdf) (дата звернення 10.02.2025).
13. Тютюнник Я. С. Аналіз небезпек пов'язаних з роботою автозаправних станцій. Автоомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ : НТУ. 2022. Вип. 85. С. 217–222.
14. Чайка О.Г. Дослідження вмісту важких металів у ґрунті на прилеглих територіях автозаправних станцій. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. т. 28. (№ 10) С. 62-65.
15. Рабош І. О. Оцінка екологічного стану територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей. Вісник НТУ «ХП». Харків: НТУ «ХП». 2018. № 9. С. 236–242.
16. Кірейцева Г.; Циганенко-Дзюбенко І.; Замула І.; Демчук Л. Аналіз стану та моніторинг поверхневих водних об'єктів Чернігівської області. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 1/2024 (144). С.84-91.
17. Демчук Л., Кірейцева Г., Циганенко-Дзюбенко І., Вовк В. Концепція екологічної безпеки держави в контексті сталого розвитку та євроінтеграції. Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2023. С. 3–11.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Барабаш Олена Василівна (м. Київ) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища. Національний транспортний університет.

ORCID: 0000-0001-5206-2922

Вакал Вікторія Сергіївна (м. Суми) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Науково-дослідний інститут мінеральних добрив і пігментів. Сумський державний університет.

ORCID: 0000-0003-2208-7162

SCOPUS: 57218572556

Вакал Сергій Васильович (м. Суми) – доктор технічних наук, директор. Науково-дослідний інститут мінеральних добрив і пігментів. Сумський державний університет.

ORCID: 0000-0002-3547-4930

SCOPUS: 57218572079

Василенко Сергій Леонідович (м. Харків) – доктор технічних наук, головний гідролог. Комунальне підприємство «Харківводоканал».

Власенко Олег Васильович (м. Київ) – аспірант, науковий співробітник. Кафедра екологічного аудиту та технологій захисту довкілля. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

ORCID: 0000-0001-9802-0322

SCOPUS: 59266912500

Герасимчук Людмила Олександрівна (м. Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент. Кафедра екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

ORCID: 0000-0002-3166-5588

SCOPUS: 57311745500

Грицуляк Галина Михайлівна (м. Івано-Франківськ) – доктор сільськогосподарських наук, професор. Івано-Франківський національний університет нафти і газу.

ORCID: 0000-0003-2463-4772

Громова Інна Юріївна (м. Київ) – кандидат технічних наук, доцент. Кафедра екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

ORCID: 0000-0001-7869-1129

Гузь Валерій Володимирович (м. Київ) – магістрант. Кафедра екології. Державний університет «Київський авіаційний інститут». ORCID: 0000-0002-6138-1471.

Д'яченко Наталія Олександрівна (м. Київ) – кандидат геологічних наук, доцент. Кафедра екологічної безпеки. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

ORCID: 0000-0002-4852-0203

SCOPUS: 57209985970

Дем'янова Ольга Олегівна (м. Херсон) – фізична особа-підприємець.

Захарченко Микола Іванович (м. Харків) – кандидат хімічних наук, доцент. Кафедра економіки та публічного управління. Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

SCOPUS: 7005640791

Зудіков Андрій (м. Дніпро) – аспірант. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Іващенко Тарас Григорович (м. Київ) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник. Кафедра екологічного аудиту та технологій захисту довкілля. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

ORCID :0000-0001-6749-1009

Web of Science: doi:

<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.1>

<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.34>

[https://doi.org/10.15589/smi2020.1\(13\).7](https://doi.org/10.15589/smi2020.1(13).7)

<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.10>

Ізмозденова Тетяна Іванівна (м. Ромни) – завідувач лабораторії листової діагностики. ТОВ «КРОП-ІНКРІС».

ORCID: 0009-0006-7896-1591

SCOPUS: 58933425200

Кірейцева Ганна Вікторівна (м. Житомир) – кандидат економічних наук, доцент. Кафедра екології та природних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

ORCID: 0000-0002-1055-1784

SCOPUS: 55945014200

Копаниця Олексій Борисович (м. Київ) – аспірант. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Коцюбинський Андрій Олегович (м. Івано-Франківськ) – кандидат фізико-математичних наук, доцент. Івано-Франківський національний університет нафти і газу.

ORCID: 0000-0003-1135-3568

Линник Діана Олександрівна (м. Івано-Франківськ) – студентка. Івано-Франківський національний університет нафти і газу.

ORCID: 0009-0008-5907-6209

Маркіна Людмила Миколаївна (м. Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

ORCID: 0000-0003-3632-1685

SCOPUS: 57190403872

Web of Science: AАН-4702-2020

Машиков Олег Альбертович (м. Київ) – доктор технічних наук, професор. Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат державної премії України в галузі науки і техніки. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Оводенко Тамара Сергіївна (м. Київ) – аспірант. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Ольховик Юрій Олександрович (м. Київ) – доктор технічних наук, старший дослідник, профе-

сор. Кафедра екології. Національний авіаційний університет.

Печений Володимир Леонідович (м. Київ) – доктор філософії. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Покішевницька Тетяна Василівна (м. Київ) – завідувач навчальної лабораторії. Кафедра екології та технологій захисту навколишнього природного середовища. Національний транспортний університет.

ORCID: 0009-0008-6606-5073

Попов Олександр Юрійович (м. Золотоноша) – майстер комплексно-очисних споруд Комунального Підприємства «Міський водоканал».

Присяжний Володимир Ілліч (м. Київ) – кандидат технічних наук. Національне космічне агентство.

Проскурнін Олег Аскольдович (м. Харків) – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник. Лабораторія проблем формування і регулювання якості вод. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

SCOPUS: 57192573429

Радомська Маргарита Мирославівна (м. Київ) – кандидат технічних наук. Кафедра екології. Державний університет «Київський авіаційний інститут».

ORCID: 0000-0002-8096-0313

SCOPUS: 57219056934

Рибак Оксана Сергіївна (м. Житомир) – аспірантка. Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва. Державний університет «Житомирська політехніка».

Рибалка Наталія Володимирівна (м. Київ) – директор Департаменту з безпеки радіаційних технологій та поводження з РАВ, заступник Головного державного інспектора з ядерної та радіаційної безпеки України. Державна інспекція ядерного регулювання України.

Улицький Олег Андрійович (м. Київ) – доктор геологічних наук, професор. Директор Навчально-наукового інституту екобезпеки та управління. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Профіль Google Академія (h-індекс - 6):
ORCID: 0000-0003-2674-2208

Фінін Георгій Семенович (м. Київ) – доктор фізико-математичних наук, перший проректор. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Хоменко Світлана Володимирівна (м. Житомир) – аспірант, асистент. Кафедра екології. Державний університет «Житомирська політехніка».

ORCID: 0009-0002-7463-7867

Хрутьба Юлія Сергіївна (м. Київ) – кандидат економічних наук, доцент. Національний транспортний університет.

ORCID: 0000-0002-3419-8364

Хрутьба Вікторія Олександрівна (м. Київ) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища. Національний транспортний університет.

Цанко Наталія Сергіївна (м. Харків) – кандидат технічних наук, начальник відділу. Відділ міжнародного співробітництва та науково-технічної інформації. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович (м. Житомир) – аспірант. Кафедра екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

ORCID: 0000-0002-3240-8719

SCOPUS: 59134642100

Шепета Кирило Олександрович (м. Ромни) – кандидат сільськогосподарських наук. Директор із маркетингу. ТОВ «КРОП-ІНКРІС».

ORCID: 0009-0006-6101-474X

Яковлев Ігор Олегович (м. Київ) – аспірант. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

Яцишин Теодозія Михайлівна (м. Івано-Франківськ) – доктор технічних наук, професор. Івано-Франківський національний університет нафти і газу. Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики НАН України.

ORCID: 0000-0001-7723-2086V

Редакція журналу також вдячна авторам які прийняли участь у підготовці чергового номеру:

**Демчук Л. І., Давидова І. В., Войналович І. М., Корбут М. Б.,
Касьяненко Д. Л., Мазуркевич К. В.**

Ми щиро вдячні кожному з вас за внесок у нашу спільну справу.

ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ СТАТТІ

наукового журналу «ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ»

затверджено в Переліку наукових фахових видань рішенням Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України (категорія Б) (наказ №894 від 10. 10. 2022 р.)

Обсяг статті не менше 10-15-ти повних сторінок.

Структура статті має відповідати вимогам до наукових статей й складатися з таких частин:

- **УДК**;
- назва статті;
- прізвище автора (авторів), науковий ступінь, назва кафедри, посада, назва установи (організації) та міста;
- контакти автора (телефон, електронна адреса);
- анотація **1800** знаків без пробілів;
- ключові слова;
- загальна суть проблеми;
- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- формулювання мети статті;
- виклад основного матеріалу;
- висновки;
- список використаної літератури

Статті публікуються українською, англійською, польською або російською мовами.

Автор зазначає рубрику, в якій публікується стаття, індекс за універсальною десятиковою класифікацією. В кінці статті наводить повну назву організації, де виконане дослідження, свою поштову і електронну адресу та номер телефону та ID SCOPUS/ORCID.

Фізичні величини наводяться в одиницях СІ.

Повна назва статті, анотація, ключові слова, а також написання прізвищ додаються українською, англійською, польською або російською мовами.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

1. Текстовий редактор – Word for Windows.
 2. Розмір сторінки: A4, 210x297.
 3. Поля: верхнє, ліве, праве – 1,5 см, нижнє – 1,7 см.
 4. Розмір шрифту «Times New Roman».
 - Для УДК – 10 кегель, великі літери, жирний шрифт.
 - Для заголовку статті 10 кегель, великі літери, жирний шрифт.
 - Для прізвища авторів – 10 кегель, жирний шрифт.
 - Для назви організації і міста – 10 кегель, нормальний шрифт.
 - Для анотації, ключових слів (3-4 рядки через 1 інтервал) 10 кегель, жирний шрифт.
 - Для заголовків розділів в тексті – 10 кегель, жирний шрифт.
 - Для основного тексту – 10 кегель, нормальний шрифт.
 - Для переліку використаних джерел (через 1 інтервал, слово Література) – 9 кегель, нормальний шрифт.
 5. Текст друкується через 1 інтервал і вирівнюється на ширину листа.
 6. Абзацний відступ від основного тексту – 0,5 см.
 7. УДК, прізвище (-а) автора (-ів), назва статті, рядки тексту анотації, номери джерел вирівнюються по лівому краю сторінки.
 8. Формули необхідно друкувати по центру, нумерація формул в кінці рядка.
 9. Розмір формул такий: основний – 12; крупний індекс – 7; дрібний індекс – 5; крупний символ – 18; дрібний символ – 12.
 10. Якщо рисунок один чи таблиця одна на статтю, то підпис здійснюється «Рисунок. Назва» чи відповідно «Таблиця», а продовження «продовження таблиці». Якщо декілька, то «Рис.1. Назва» чи відповідно «Таблиця 1», а продовження «продовження табл. 1».
 11. Між рядком з вказаним індексом УДК і рядком з прізвищем автора (-ів), рядком з прізвищем автора (-ів) та назвою, назвою та анотацією, анотацією та текстом, текстом та переліком джерел – віддаль повинна бути в 2 інтервали.
 12. Переноси в назві статті не допускаються.
 13. Нумерований перелік літератури подати в кінці статті одним абзацем, через крапку і оформлюється згідно ДСТУ 7.1:2006 (див. Бюлетень ВАК України №3, 2008). Нумерація джерел йде підряд і номер джерела виділяється жирним шрифтом. В переліку повинна вказуватись сучасна англомовна література з ретроспективою не більше 5 років.
- До статті подається рецензія від фахівця з науковим ступенем доктора наук і витяг з протоколу засідання кафедри про рекомендацію статті до друку.

Довідково (інтернет ресурси):

<https://vak.in.ua/>

<https://www.grafiati.com/uk/info/dstu-7-1-2006/examples/>

https://www.narodnaosvita.kiev.ua/?page_id=105

<http://www.ukrbook.net/biblzak.html>

http://www.library.ukma.edu.ua/fileadmin/documents/Bibliography/26_DCTU3582-97.pdf

[«Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України» від 15 січня 2003 № 7-05/1.](#)

[Онлайн-конвертер з української мови для транслітерації: <http://translit.kh.ua/?passport>](#)

Для транслітерації латиницею україномовних текстів можна скористатися програмами на відповідних сайтах: <http://litopys.org.ua/links/intrans.htm>

ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»
ДСТУ 3582-97
ДСТУ 7.1:2006