

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.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,  
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166*proskurnin\_o@ukr.net***Василенко С. Л.<sup>2</sup>**Комунальне підприємство «Харківводоканал»,  
вул. Конторська, 90, м. Харків, 61052*vasylenko\_serhiy\_leonidovych@ukr.net***Цапко Н. С.<sup>1</sup>***tsapkonatali@gmail.com***Захарченко М. І.<sup>3</sup>**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 Donets 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  $\chi^2$ .

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  $\alpha$  – ймовірність похибки) розподілу  $\chi^2$  зі ступенем свободи  $R-1$ ;

– порівнюються значення  $\chi_{emp}^2$  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 м<sup>3</sup>/рік та 55 млн м<sup>3</sup>/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.

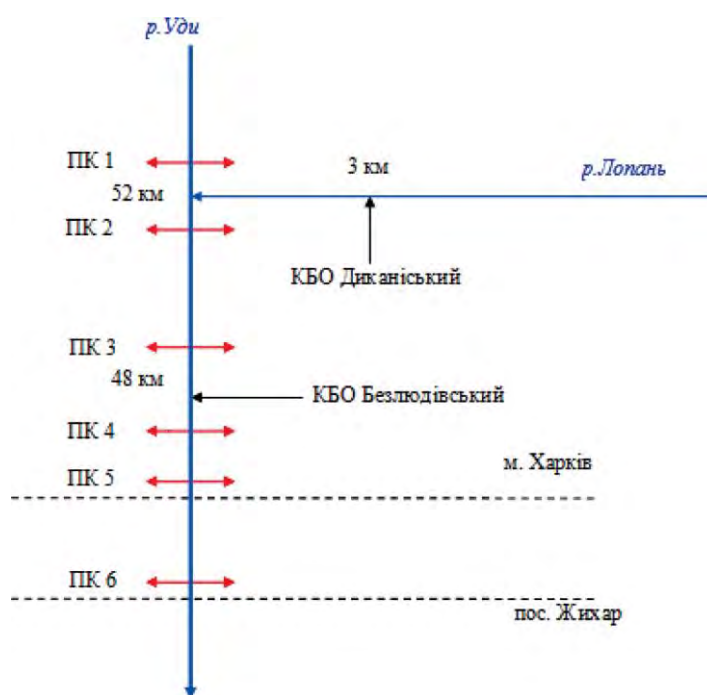


Рисунок 1. Схема водовідведення КП «Харківводоканал» та розташування ПК якості води річки Уди у зоні впливу підприємства (відстані наведені до гирла річок)

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:  $S = 81,5$ ,  $W = 0,652$ ,  $\chi_{емр}^2 = 9,78$ ,  $\chi_{кр}^2 = 7,81$ .

Оскільки  $\chi_{емр}^2 > \chi_{кр}^2$  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., Włachuta J. Wytyczne metodyczne do przeprowadzenia monitoringu i oceny potencjału ekologicznego zbiorników zaporowych w Polsce. Wersja 2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa.
5. Chalisa Veksommai 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-carmes 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.

Таблиця 2

## Порівняння українських та міжнародних нормативних баз водоочищення

Нормативний документ	Міжнародні документи	Недоліки (у контексті НС)
<b>Контроль якості стоків</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95–ВР;</li> <li>– Закон України «Про охорону навколишнього середовища» затвердженого 25.06.1991 р.;</li> <li>– Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» від 24.02.1994 № 4004–ХІІ. База даних «Законодавство України»;</li> <li>– Закон України «Про захист населення від інфекційних хвороб» від 06.04.2000 № 1645–ІІІ. База даних «Законодавство України»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Рамкова директива 200*60/ЄС Європарламенту та ради Європи про воду (Water frame Direktory, WFD);</li> <li>– Директива 98/83/ЄС «Щодо якості питної води»;</li> <li>– Primare Drinkig Water Regulations (U.S.EPA)</li> </ul>	Не пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Правила приймання стічних вод підприємства в комунальні і відомчі системи каналізації населених пунктів України;</li> <li>– Правила охорони поверхневих вод, від забруднення зворотними водами, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 року № 465</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Директива про очистку міських стічних вод (91/271/ЄС)</li> <li>– Директива щодо інтегрованого контролю і запобігання забруднення (96/61/ЄС)</li> </ul>	Не пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755–VІ, розділ VІІ «Екологічний податок»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Програма дії по охороні довкілля Міжнародної організації співпраці («забруднювач платить»);</li> <li>– Федеральний податок страхового характеру на дію НС (США)</li> </ul>	Пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям лише у США
<b>Проектування систем водоочищення</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ДБН В.2.5.-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»</li> </ul>	Commission Implemenyng 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
<b>Дія надзвичайних ситуацій</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. № 37*р схвалено Концепцію управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;</li> <li>– Постанова Кабінету Міністрів України від 26.09.2016 р. № 779 «Деякі питання запобігання виникненню надзвичайних ситуацій»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Директива Ради Європи № 89/391/ЄС</li> <li>– Сімейство стандартів ISO 1400</li> </ul>	В Україні лише декларується загроза Національній безпеці від небезпечного водоскиду в умовах надзвичайних ситуацій

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 4000м<sup>3</sup>/добу, а фактична, як показала практика – 1800-2200 м<sup>3</sup>/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

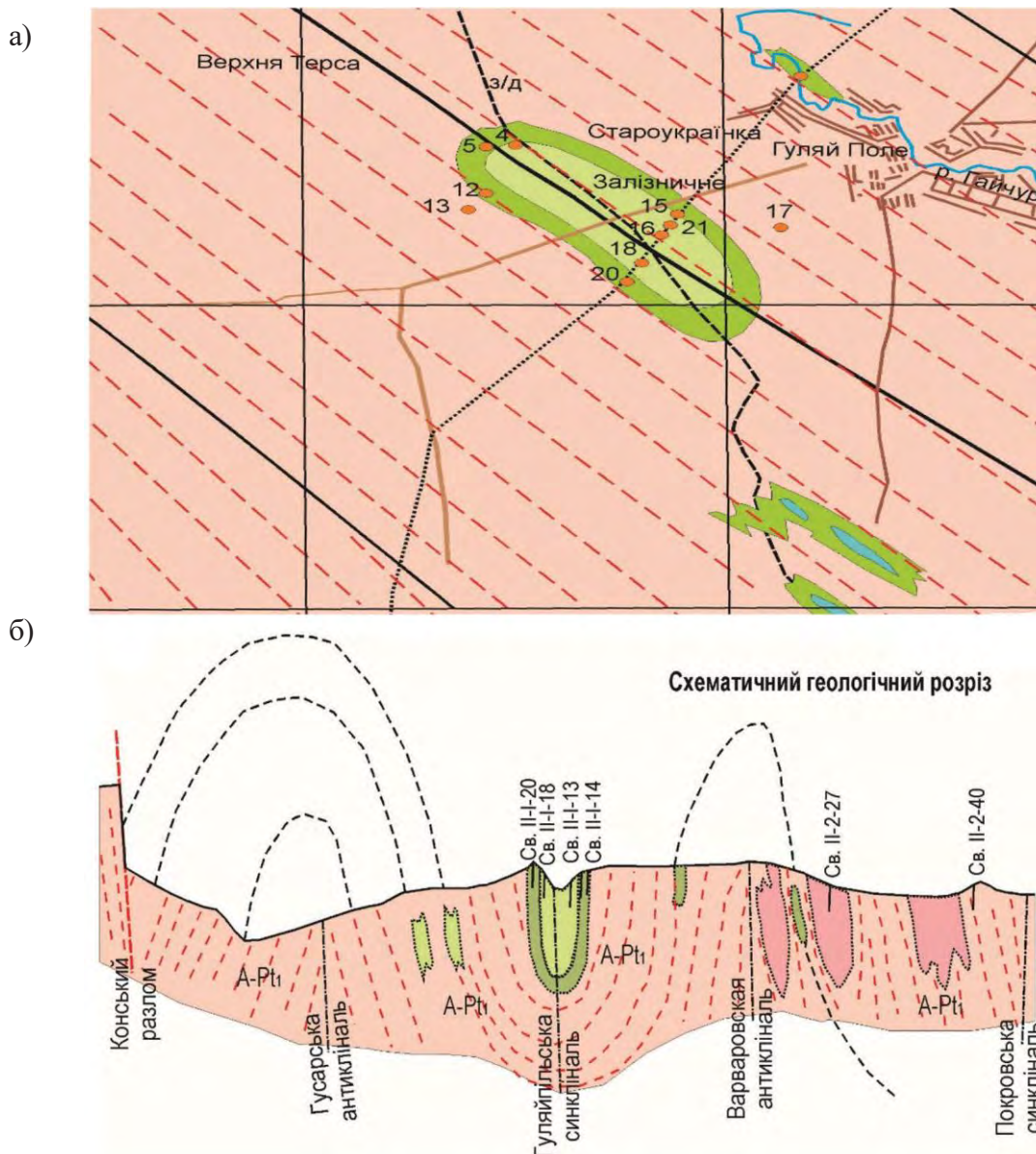


Рисунок 4. Фрагмент геологічної карти докембрію в зоні рудоносної структури (а), доповнений геологічним розрізом по лінії 1-1 (б), де 1 – св. 20–14 – рудоносне тіло

У тектонічній будові масиву Гуляйпільське родовище відноситься до однойменної складці, витягнутій у напрямку ПнЗ 310–315°, осьова 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-

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

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 <sup>2</sup> )
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 (R<sup>2</sup>), 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-

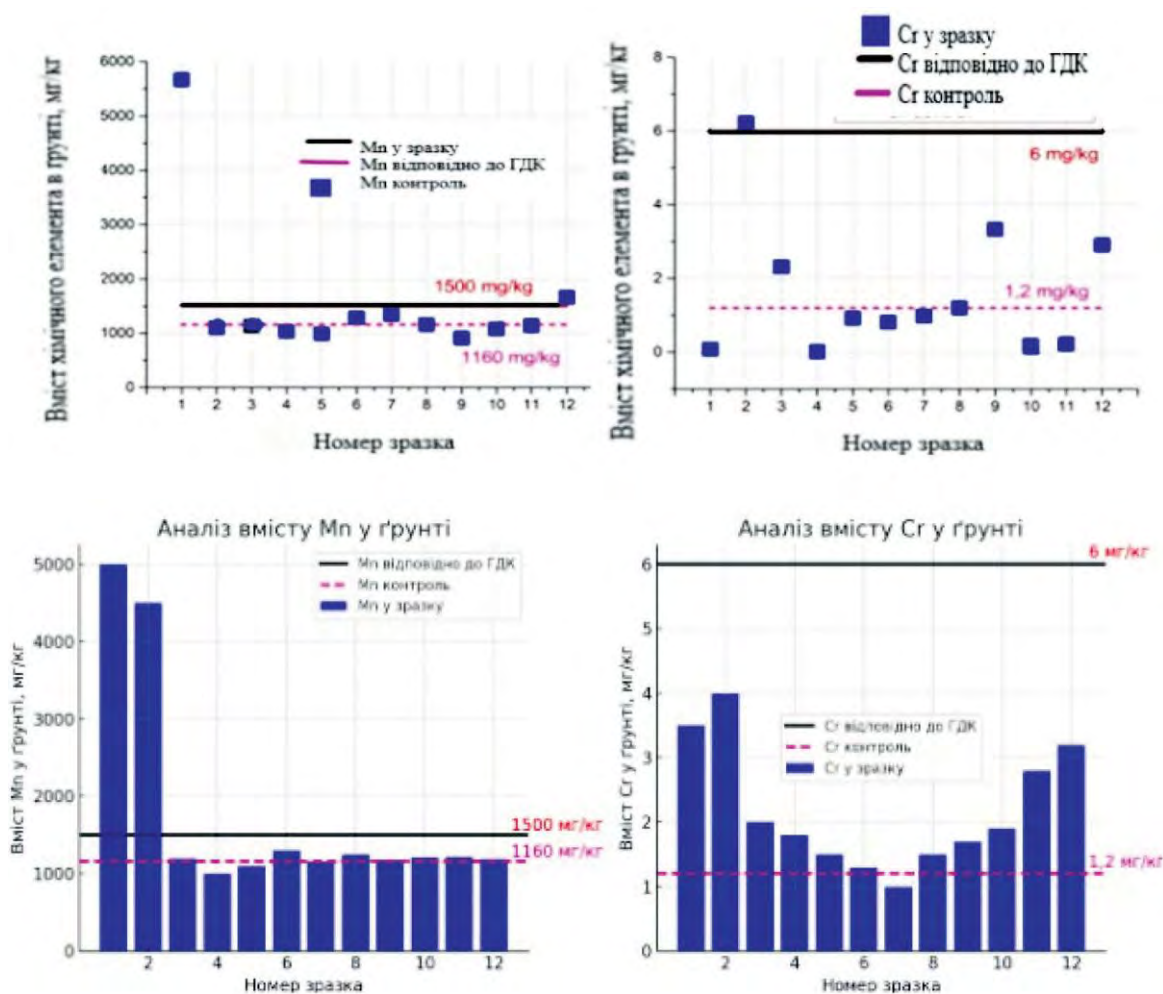


Рисунок 4. Вміст мангану та хрому у відібраних зразках ґрунту, контрольний та допустимий їх рівень за ГДК

\*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-

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 дослідженнями 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 CO<sub>2</sub> 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 PM2.5), 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/м<sup>2</sup>, 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