

ISSN 2522-1388

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ, ДОВКІЛЛЯ ТА СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»

**ПРОБЛЕМИ
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО
ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА
ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ВИПУСК 47

Харків — 2025

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Гриценко А. В., д-р геогр. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Васенко О. Г., канд. біол. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Цапко Н. С., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Аніщенко Л. Я., д-р техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Бабіч О. В., канд. техн. наук, ХНУМГ; м. Харків, Україна;

Варламов Є. М., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Василенко С. Л., д-р техн. наук, КП «Харківводоканал»; м. Харків, Україна;

Внукова Н. В., д-р техн. наук, ХНАДУ; м. Харків, Україна;

Генова С. І., д-р екон. наук, Комратський державний університет, м. Комрат, Республіка Молдова

Гурець Л. Л., д-р техн. наук, СумДУ; м. Суми, Україна;

Дмитрієва О. О., д-р екон. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Жуковський Т. Ф., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Клімов О. В., канд. геогр. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Крайнюкова А. М., д-р біол. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Рибалова О. В., канд. техн. наук, НУЦЗУ; м. Харків, Україна;

Романова Н. С., канд. фіз.-мат. наук, професор Сакред Харт Академії, г. Хемден, Штат Коннектикут, США;

Романова К. О., канд. техн. наук, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна;

Саввова О. В., д-р техн. наук, ХНУМГ; м. Харків, Україна;

Телюра Н. О., канд. техн. наук, ХНУМГ; м. Харків, Україна;

Тітенко Г. В., канд. геогр. наук, ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

Тютюнник В. В., д-р техн. наук, НУЦЗУ; м. Харків, Україна;

Хабарова Г. В., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Христич О. В., канд. техн. наук, НУЦЗУ; м. Харків, Україна;

Цапко Н. С., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Чумаченко С. М., д-р техн. наук, НУХТ; м. Київ, Україна.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа

R30-05265

Рішення від 23.05.2024 № 1674

Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. / УКРНДІЕП – Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2025. — Вип.47. — 164 с.

Збірник призначено для висвітлення результатів наукових досліджень у галузі екології, охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки. Розраховано на наукових та інженерно-технічних фахівців, діяльність яких пов'язана з охороною довкілля.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за достовірність наведених відомостей, точність даних по цитованій літературі та за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради УКРНДІЕП (протокол № 6 від 23.12.2025 р.)

© УКРНДІЕП, оформлення, 2025

ЗМІСТ

А. В Гриценко, О. О. Дмитрієва, Н. С. Цапко, В. В. Браткевич Модель обґрунтування вибору технології еколого-безпечного водовідведення.....	4
О. Г. Васенко, М. В. Старко, О. В. Черба, Д. В. Пономаренко Головні чинники проникнення адвентивних видів рослин на територію України.....	20
О. Г. Васенко, М. В. Старко, О. В. Черба, Г. Л. Гончаров Головні шляхи появи чужорідних видів риб у водних об'єктах України.....	29
О. О. Дмитрієва, Н. С. Цапко, І. В. Колдоба Доцільність використання комплексних еколого-соціальних показників в дослідженнях впливу на довкілля промислових об'єктів.....	37
О. О. Дмитрієва, Н. С. Цапко, Л. В. Мельнік, М. М. Воробьов, З. І. Лознюк Науково-практичні аспекти технологічних заходів щодо зменшення впливу «шкідливого цвітіння» водних об'єктів України.....	57
Т. Ф. Жуковський, О. А. Палагута, Г. В. Гутков, І. В. Овчарова Імплементация Україною законодавства європейського союзу у сфері охорони атмосферного повітря.....	76
І. В. Зінченко, І. А. Густавсон, К. С. Кононенко Актуальність моніторингу хімічного та мікробіологічного забруднення поверхневих водних об'єктів у період воєнних дій.....	84
С. Ю. Коваленко, В. В. Брук Динаміка показників цілей сталого розвитку у період з 2015 по 2023 роки.....	98
Н. К. Маркіна, Я. В. Горишнякова, Л. В. Пулипенко, О. С. Мар'єнко Порівняльний аналіз зміни мінералізації підземних вод у районі ставка-випаровувача КНПЗ в залежності від умов його експлуатації.....	116
Н. V. Khabarova, G. D. Kovalenko, S. V. Barbashev Remote monitoring of atmospheric air pollution: existing approaches to application and prospects for implementation in Ukraine.....	138
А. І. Юрченко, О. А. Юрченко Науково-методологічні передумови щодо попередження та запобігання надходженню пестицидів та агрохімікатів з сільгоспсток до водних об'єктів.....	148

А. В. ГРИЦЕНКО, О. О. ДМИТРІЄВА, Н. С. ЦАПКО, В. В. БРАТКЕВИЧ

МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГО-БЕЗПЕЧНОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Надано огляд існуючих підходів щодо вибору пріоритетних технологій екологічно безпечного водовідведення. Відзначено переваги та недоліки відомих методів. Підкреслено обмеження традиційних ієрархічних моделей, які не здатні враховувати зворотні зв'язки між критеріями оцінювання. Результатом дослідження є побудова в інструментальному середовищі Super Design холархічної моделі для кількісної оцінки альтернативних варіантів вибору пріоритетних технологій. Наведено розрахунок глобальних пріоритетів варіантів вибору відповідних технологій водовідведення та виконано аналіз чутливості результату моделювання до можливого розкиду експертних висновків. Запропонований підхід може бути використаний для оцінювання різних сценаріїв модернізації систем водовідведення, планування природоохоронних заходів та оптимізації управління водними ресурсами на місцевому і регіональному рівнях.

Ключові слова: екологічно безпечне водовідведення; багатокритеріальна оцінка; холархічна модель; метод MAC; Super Decisions; стан водних екосистем; аналіз чутливості; технології очищення.

An overview of existing approaches to the selection of priority technologies for ecologically safe drainage is provided. Advantages and disadvantages of known methods are noted. The limitations of traditional hierarchical models, which are unable to take into account the feedback between evaluation criteria, are emphasized. The result of the research is the construction in the Super Design tool environment of a holarchic model for the quantitative assessment of alternative options for choosing priority technologies. The calculation of the global priorities of the options for choosing the appropriate water drainage technologies is given, and the sensitivity analysis of the modeling results to the possible dispersion of expert opinions regarding the pairwise comparison of the relevant criteria is performed. The proposed approach can be used to evaluate various scenarios

for the modernization of drainage systems, planning environmental protection measures, and optimizing water resources management at the local and regional levels.

Keywords: ecologically safe drainage; multi-criteria assessment; holarchic model; MAC method; Super Decisions; state of water ecosystems; sensitivity analysis; cleaning technologies.

Актуальність

Раціональний вибір екологічно безпечних технологій відведення та очищення стічних вод є ключовою умовою забезпечення належної якості водних ресурсів та зниження антропогенного навантаження на довкілля. Застосування відповідних моделей дозволяє проводити обґрунтоване порівняння можливих технологічних рішень з урахуванням специфіки водних об'єктів, типів забруднення, вимог до якості води, технічних обмежень та економічних витрат. Україна характеризується різноманітними природними та техногенними умовами, зумовленими особливостями клімату, геологічної будови, рівнем промислового розвитку та структурою міських територій. Саме ці фактори обумовлюють необхідність адаптації технологій водовідведення до конкретних умов регіону й ускладнюють процес вибору раціонального рішення.

Для обґрунтування технологічних рішень використовуються різні методичні підходи. Зокрема, матричні методи дозволяють проводити порівняння технологій за низкою показників (ефективністю очищення, вартістю впровадження, екологічними ризиками, особливостями експлуатації). Методи математичної оптимізації забезпечують пошук найкращої комбінації технологій відповідно до заданих технічних та економічних критеріїв. У сучасних дослідженнях значну поширеність отримали методи, засновані на багатокритеріальному аналізі, серед яких провідне місце займає метод аналізу ієрархій (MAI). Його перевагою є можливість врахування значного спектра факторів, зокрема й тих, що характерні для різних природних зон України. Водночас обмеженням MAI є неможливість коректного опису зворотних, або холархічних, зв'язків між критеріями, які відіграють суттєву роль у системах водовідведення.

З огляду на це у роботі запропоновано удосконалений підхід на основі холархічної моделі, яка ґрунтується на методі системного аналізу (MAC). Така модель дає змогу врахувати взаємний вплив критеріїв та здійснити більш повне й об'єктивне оцінювання альтернативних технологій екологічно безпечного водовідведення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [1] наведено систематизовану характеристику типових технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення. Питання екологічних та соціальних аспектів сталого розвитку населених пунктів України висвітлено в публікації [2]. У статті [3] детально описані сучасні методи очищення стічних вод різних типів, включно з використанням інноваційних екологічно орієнтованих технологій. Аналіз стану систем водовідведення та перспектив їх розвитку з позицій екологічної безпеки наведено в роботі [4]. Інноваційні технологічні підходи до водопостачання та водовідведення, а також особливості їх упровадження в Україні, розглядаються у статті [5]. Матеріали збірника [6] узагальнюють результати досліджень щодо сучасного стану довкілля, екологічних проблем різних регіонів та можливих шляхів їх розв'язання, зокрема із застосуванням біотехнологій очищення води, ґрунту та повітря.

У наведених роботах [1]–[6] значну увагу приділено екологічним аспектам функціонування систем водовідведення та їх технічним характеристикам, проте питання вибору оптимальної технології за формалізованими критеріями розглядається фрагментарно. Важливою складовою сучасних досліджень є використання математичних моделей для оцінювання альтернативних технологій водопостачання та водовідведення. Так у роботах [7]–[9] наведено приклади застосування багатокритеріального аналізу для вибору технологій очищення води. Зокрема, у дослідженні [7] запропоновано комплексну методику вибору технології водопідготовки питної води на основі багатофакторного оцінювання. У роботі [8] розроблено модель прийняття рішень, що враховує економічні, соціальні та екологічні показники для визначення оптимальної системи очищення стічних вод. Аналогічний підхід до оцінки технологій водопостачання малих населених пунктів викладено в статті [9], де також наведено перелік релевантних критеріїв.

Найбільш близькими до методології даного дослідження є роботи [10] та [11], у яких застосовано метод аналізу ієрархій (MAI) для вибору технологічних заходів водовідведення [10] та стратегічних альтернатив розвитку інформаційної інфраструктури [11]. Однак, у зазначених дослідженнях не враховуються зворотні (холархічні) зв'язки між рівнями та вузлами моделі, що обмежує можливість їх використання у складних системах, де взаємозалежність критеріїв відіграє суттєву роль.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є розробка холархічної моделі кількісної оцінки альтернативних варіантів вибору технологічних прийомів (методів) екологічно безпечного водовідведення стічних вод, які враховують зворотні зв'язки як між ієрархічними рівнями моделі, так і вузлами всередині рівнів.

Об'єктом дослідження є процес обґрунтування кількісної оцінки альтернативних варіантів технологій екологічно безпечного водовідведення.

Предметом дослідження є холархічна модель вибору пріоритетних методів технологій екологічно безпечного водовідведення .

Гіпотеза дослідження – між критеріями/факторами, які визначають доцільність вибору конкретного варіанту технологічного процесу технологій екологічно безпечного водовідведення стічних вод, завжди існують не тільки прямі, а й зворотні залежності. Однак, у відомих ієрархічних моделях зворотні зв'язки не враховуються, що є їх істотним недоліком.

Для досягнення мети дослідження необхідно виконати наступні завдання.

Завдання 1. Розробити холархічну модель вибору технологій екологічно безпечного водовідведення. Для чого необхідно визначити:

- критеріальну базу відносно оцінки та обґрунтувати альтернативних варіантів вибору пріоритетних технологій екологічно безпечного водовідведення;
- найбільш суттєві зв'язки між критеріями з урахуванням особливостей поточної предметної галузі дослідження.

Завдання 2. В інструментальному середовищі Super Design виконати програмну реалізацію отриманої моделі та розрахувати глобальні пріоритети альтернативних варіантів вибору пріоритетних технологій екологічно безпечного водовідведення.

Завдання 3. Дослідити чутливість моделі шляхом побудови графіків зміни пріоритетів альтернативних варіантів вибору пріоритетних технологій екологічно безпечного водовідведення відносно можливого розкиду експертних висновків при попарному порівнянні відповідних критеріїв.

Формування критеріальної бази для обґрунтування вибору технологій екологічно безпечного водовідведення.

Для побудови холархічної моделі необхідно визначити систему критеріїв, які найбільш повно описують чинники, що впливають на вибір технологій екологічно безпечного водовідведення. Аналіз наукових джерел та практичних підходів показав, що оцінювання таких технологій доцільно здійснювати на основі кількох груп

(кластерів) параметрів, які охоплюють екологічні, соціальні, економічні та технічні аспекти функціонування систем водовідведення.

Кластер 1. Еколого-соціально-економічні показники (К).

Ця група параметрів відображає вплив технології на загальний стан водного середовища, рівень комфорту населення та можливі економічні наслідки. Зокрема враховуються:

К-1. Стан поверхневих вод; Екологічна складова;

К-2. Умови життєдіяльності населення; Соціальна складова;

К-3. Економічні наслідки зміни якості води у водному об'єкті.

Такі критерії визначають стратегічний рівень оцінювання, оскільки вони формують загальне уявлення про екологічну та соціальну доцільність впровадження конкретної технології.

Кластер 2. Фактори, що характеризують стан водних об'єктів (ФС).

Ця група критеріїв деталізує процеси, пов'язані з розвитком евтрофування, а також відображає потенційні наслідки використання водних ресурсів у рекреаційних або питних цілях. До ключових аспектів належать:

ФС-1. Стадії процесів евтрофування водних об'єктів;

ФС-2. Небезпека для стану здоров'я при питному та рекреаційному водокористуванні;

ФС-3. Обґрунтованість фінансування для впровадження екологічно безпечного водокористування.

Ці параметри дають змогу прив'язати технічні рішення до реального стану водних об'єктів.

Кластер 3. Техніко-економічні характеристики системи водовідведення (ТЕП).

На цьому рівні оцінюються властивості самої інженерної інфраструктури, які можуть впливати на ефективність вибору технологій:

ТЕП-1. Стан систем водовідведення;

ТЕП-2. Площа водозбірної території;

ТЕП-3. Наявність вільних територій для будівництва нових очисних споруд, КНС, ємностей;

ТЕП-4. Благоустрій території водозбору.

Вказані фактори дають можливість зіставити можливості існуючої інфраструктури з вимогами до впровадження певних технологічних рішень.

Кластер 4. Показники, спрямовані на підвищення ефективності техніко-економічних рішень (ПСВ).

Цей кластер містить критерії, що стосуються заходів, необхідних для забезпечення стабільної роботи системи та доповнення її функціональних можливостей. До таких належать:

ПСВ-1. Необхідність дотримання умов прийняття та транспортування дощових, талих та дренажних вод у системі дощової каналізації;

ПСВ-2. Необхідність впровадження біологічної очистки поверхневих стічних та дренажних вод;

ПСВ-3. Необхідність забезпечення стабільної роботи комунальних біологічних очисних споруд.

Фактично цей кластер описує основні умови, що впливають на ефективність реалізації технологічних заходів.

Кластер 5. Альтернативні технологічні рішення (ТЗ).

Остання група містить безпосередні технологічні альтернативи (заходи), серед яких здійснюється вибір. До них належать:

ТЗ-1: Очищення поверхневих стічних вод (ПСВ) на біоінженерних спорудах (БІС);

ТЗ-2: Очищення ПСВ на комунальних спорудах біологічної очистки стічних вод (БОС);

ТЗ-3: Будівництво двох акумулюючих ємностей на БОС для регулювання ПСВ і перехоплення залпових скидів стічних вод;

ТЗ-4: Очищення ПСВ з окремих територій, що мають самостійний випуск у ВО на локальних очисних спорудах;

ТЗ-5: Локальна очистка ПСВ з території автостоянок, заправних станцій, торгових центрів з подальшим скидом в зливову каналізацію НП;

ТЗ-6. Організаційно-технічні заходи щодо скорочення кількості винесених домішок поверхневим стоком або поліпшення санітарного стану водозбірних територій;

ТЗ-7: Збільшення площ каналізування територій НП.

Ці альтернативи формують набір практично здійснених рішень, пріоритетність яких визначається моделлю.

Зв'язки між критеріями.

У цьому дослідженні застосовано підхід, який поєднує елементи ієрархічної організації та холархічної взаємодії, що є необхідним для відтворення реальної багатofакторної природи екологічних систем.

Між критеріями кластера 1 (К-1, К-2, К-3), які розташовані на верхньому рівні ієрархії, та критеріями другого рівня ієрархії кластера 2 (ФС-1, ФС-2, ФС-3) у предметній області спостерігаються такі зв'язки:

$K-1 \rightarrow \Phi C-1;$

$K-1 \rightarrow \Phi C-2;$

$K-1 \rightarrow \Phi C-3.$

Наведений вище запис означає, що критерій К-1 (Стан поверхневих вод; Екологічна складова) залежить від: ступеня процесів евтрофування водних об'єктів (ФС-1); ступеня небезпеки для стану здоров'я при питному та рекреаційному водокористуванні (ФС-2); обґрунтованості фінансування для впровадження екологічно безпечного водокористування (ФС-3).

Або стисло: $K-1 \rightarrow (\Phi C-1, \Phi C-2, \Phi C-3)$. Іншими словами, критерії ФС-1, ФС-2, ФС-3 впливають на критерій К-1.

Наступні рівні (кластери) ієрархії можуть бути представлені подібним чином.

Кластер 2.

$\Phi C-1 \rightarrow (TEП-I, TEП-2, TEП-3, TEП-4);$

$\Phi C-2 \rightarrow (TEП-I, TEП-2, TEП-3, TEП-4);$

$\Phi C-3 \rightarrow (TEП-I, TEП-2, TEП-3, TEП-4).$

Кластер 3.

$TEП-I \rightarrow (ПCВ-1, ПCВ-2, ПCВ-3);$

$TEП-2 \rightarrow (ПCВ-1, ПCВ-2, ПCВ-3);$

$TEП-3 \rightarrow (ПCВ-1, ПCВ-2, ПCВ-3);$

$TEП-4 \rightarrow (ПCВ-1, ПCВ-2, ПCВ-3).$

Кластер 4.

$ПCВ-1 \rightarrow (TЗ-5, TЗ-6, TЗ-7);$

$ПCВ-2 \rightarrow (TЗ-1, TЗ-4, TЗ-5, TЗ-6, TЗ-7,);$

$ПCВ-3 \rightarrow (TЗ-2, TЗ-3, TЗ-7).$

У запропонованій моделі, крім ієрархічних, пропонується розглядати зворотні (холархічні) зв'язки, як між критеріями всередині кластерів, так і між критеріями, розташованими на різних рівнях ієрархії.

Холархічні зв'язки використовуються там, де системні взаємодії є двосторонніми, циклічними або не можуть бути відображені лінійним

підпорядкуванням. Такі зв'язки є характерними для екологічних систем, у яких зміна одного параметра може впливати як на пов'язані з ним критерії, так і на фактори вищих рівнів.

Всередині кластерів холархічні співвідношення критеріїв визначається наступним чином.

Кластер 1.

$K-3 \rightarrow (K-1, K-2); K-2 \rightarrow K-1.$

Кластер 2.

$FC-3 \rightarrow FC-1; FC-2 \rightarrow FC-1.$

Кластер 3.

$TEP-1 \rightarrow (TEP-2; TEP-3, TEP-4).$

Також проаналізовано зв'язки між критеріями різних кластерів.

$TEP-4$ (кластер 3) $\rightarrow K-3$ (кластер 1);

$T3-1$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1;

$T3-2$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1;

$T3-3$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1;

$T3-4$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1;

$T3-5$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1;

$T3-6$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1;

$T3-7$ (кластер 5) $\rightarrow (K-1, K-2, K-3)$, кластер 1.

Поєднання двох типів зв'язків у моделі дає змогу:

- врахувати стратегічну підпорядкованість критеріїв (ієрархія);
- одночасно відобразити складні перехресні взаємозалежності (холархія);
- забезпечити адекватність моделі реальним умовам функціонування систем водовідведення;
- підвищити точність оцінки альтернатив завдяки можливості врахування зворотних зв'язків.

Такий підхід є особливо важливим для моделювання екологічних систем, де відсутність циклічних взаємодій у моделі призводить до втрати частини інформації та спрощення реальної картини предметної галузі.

Програмна реалізація холархічної моделі в інструментальному середовищі Super Design та розрахунок глобальних пріоритетів альтернативних варіантів вибору пріоритетних технологій екологічно безпечного водовідведення.

У Super Decisions модель представлена у вигляді кількох кластерів (рис.1).

Кожен кластер містить вузли, які пов'язані між собою ієрархічними та зворотними зв'язками. Застосування MAC полягає у формуванні матриць парних порівнянь для кожного критерію та кожного зв'язку між елементами моделі. Експерти порівнюють вплив одного критерію на інший за шкалою відносної важливості, після чого розраховуються локальні та глобальні пріоритети. Важливою особливістю MAC є те, що підсумкові пріоритети формуються не окремо для кожного рівня, а з урахуванням усіх зворотних взаємодій, що дозволяє моделі наблизитись до реальних багатофакторних екосистем.

Інформаційна наповненість моделі здійснювалася на основі демонстраційного прикладу шляхом формування групою експертів відповідних матриць парних порівнянь. Процедура експертної оцінки на основі холархічної моделі на відміну від ієрархічних моделей має суттєві відмінності. Так, в ієрархічній моделі першим кроком роботи з експертом було би визначення пріоритетів К-1, К-2 і К-3.



Рисунок 1 – Реалізація холархічної моделі вибору альтернативних варіантів пріоритетних технологій.

Для заповнення відповідної матриці експерту необхідно було б послідовно надавати три питання такого типу: «за шкалою Сааті [14] оцініть, який із двох порівнюваних критеріїв (наприклад, К-1 і К-2) має більший вплив на вибір пріоритетних технологій екологічно безпечного водовідведення». Тут важливо зазначити, що мова йде про комплексну оцінку всіх альтернативних варіантів ТЗ-1, ...,

T3-7, при цьому експерт повинен інтуїтивно (виходячи зі свого досвіду) виділяти ознаки, загальні для всіх варіантів технології, в залежності від двох порівнюваних критеріїв. В разі холархічної моделі (рис. 1) наявність зворотних зв'язків між вузлами T3-1, ..., T3-7 кластера 5 і вузлами K-1, K-2, K-3 кластера 1 істотно спрощує роботу експерта. У цьому випадку кожен з пріоритетів вузлів K-1, K-2, K-3 формується в результаті узагальненого аналізу не одної, але дев'яти відповідних (для кожної технології) матриць. При цьому щодо кожного альтернативного варіанту T-3_1, ..., T-3_7 експерту ставиться питання типу: «за шкалою Сааті оцініть, який із двох порівнюваних критеріїв (наприклад, K-1 і K-2) більше впливає на вибір конкретної технології екологічно безпечного водовідведення».

На рис. 2 надано отримані в середовищі Super Design нормалізовані та граничні глобальні пріоритети вузлів моделі для кластерів 1,2,3,4.

Here are the priorities.			
Name		Normalized by Cluster	Limiting
K-1_Екологічна складова_Стан поверхностних вод		0.31082	0.082103
K-2_Соціальна складова_Умови життєдіяльності на~		0.28917	0.076384
K-3_Економіко-технологічна складова_Е~		0.40000	0.105659
ФС-1		0.77716	0.151417
ФС-2		0.10648	0.020745
ФС-3		0.11636	0.022671
ТЕП-1		0.43833	0.097185
ТЕП-2		0.26102	0.057872
ТЕП-3		0.17912	0.039715
ТЕП4		0.12153	0.026946
ПСВ-3		0.52171	0.083292
ПСВ-1		0.20686	0.033026
ПСВ-2		0.27142	0.043333

Рисунок 2 – Нормовані та граничні глобальні пріоритети вузлів моделі для кластерів 1,2,3,4.

З результату моделювання випливає, що при поточної інформаційній наповненості моделі, в кластері 1 найбільшу вагу має критерій K-3. В кластері 2 — критерій ФС-1, в кластері 3 — критерій ТЕП-1, кластері 4 — критерій ПСВ-3.

Кінцевий результат моделювання у вигляді глобальних пріоритетів для альтернативних технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення надано на рис. 3.

Таким чином, найбільшу вагу має технологія ТЗ-2, яка передбачає очищення поверхневих стічних вод на комунальних біологічних очисних спорудах. Це рішення отримало найвищий глобальний пріоритет завдяки поєднанню стабільних екологічних показників та технічної надійності

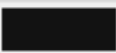
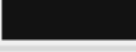
Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
ТЗ-1		0.338246	0.095224	0.01520
ТЗ-2		1.000000	0.281522	0.04494
ТЗ-3		0.302853	0.085260	0.01361
ТЗ-4		0.179098	0.050420	0.00805
ТЗ-5		0.411312	0.115793	0.01848
ТЗ-6		0.494873	0.139318	0.02224
ТЗ-7		0.825734	0.232463	0.03711

Рисунок 3 – Глобальні пріоритети вузлів моделі для альтернативних технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення.

Аналіз чутливості і стійкості результату моделювання до можливого діапазону розкиду відповіді експерта.

Ідеальною моделлю можна назвати систему, що володіє хорошою чутливістю і в той же час достатньою стійкістю в заданих межах. Розробка ідеальної моделі полягає саме в досягненні оптимального компромісу між чутливістю та стабільністю, щоб забезпечити роботу системи в реальних умовах експлуатації.

На рисунку 4 наведено приклад результату моделювання аналізу стійкості і чутливості вектору пріоритетів прийняття технологічних заходів ТЗ-1,..., ТЗ-7 при розбігу (похибки) $\pm 10\%$ діапазону експертного висновку відносно номінального значення (0,083292, див. рис.2) критерія ПСВ-3.

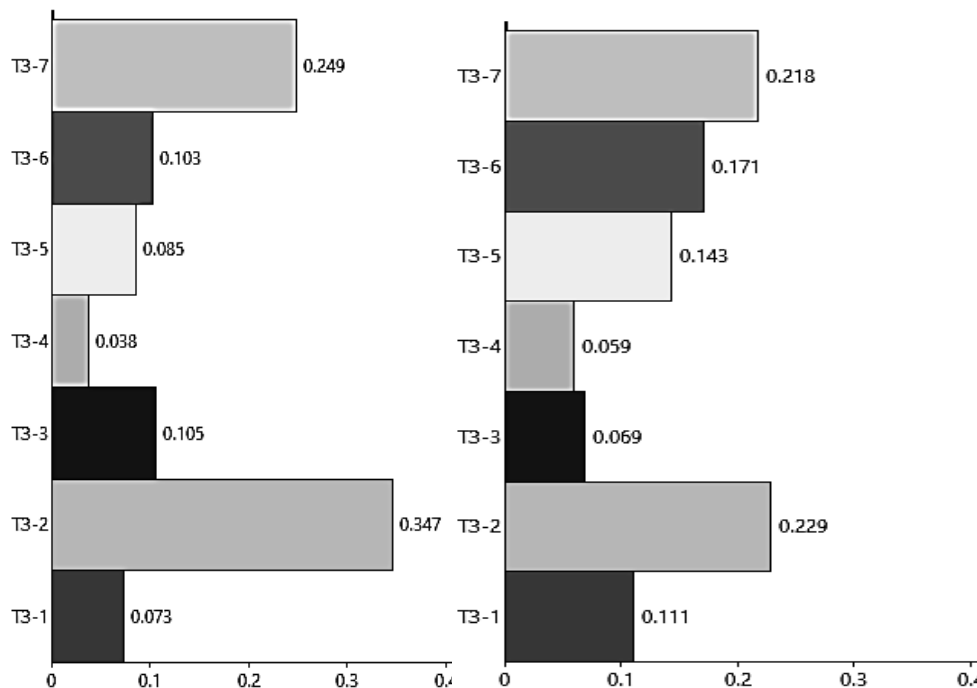
З графіку випливає, що найвищий пріоритет технології ТЗ-2 залишається без зміни за допустимої з боку експерта неточності $\pm 10\%$ оцінювання критерію ПСВ-3.

Аналогічна процедура для визначення впливу можливих відхилень експертних оцінок на загальний результат ранжування альтернатив може бути застосована і до інших вузлів холархічної моделі.

Перспективи подальшого розвитку досліджень

Доцільним є включення до моделі додаткових екологічних параметрів, що характеризують довгострокові зміни у стані водних екосистем, а також розроблення сценарних моделей для оцінювання ефективності технологій у різних кліматичних і

техногенних умовах. Для підвищення інформативності результату моделювання та кількісної оцінки показників, що мають нечітке уявлення, може бути запропоновано подальший розвиток існуючої методології на основі теорії нечітких множин. Це дозволить особі, яка приймає рішення, розширити варіанти прогнозованих альтернативних рішень.



Пріоритет ПСВ-3 збільшено на + 10% Пріоритет ПСВ-3 зменшено на - 10%

Рисунок 4 – Зміна вектору пріоритетів прийняття технологічних заходів T3-1,..., T3-7 при розбігу (похибки) $\pm 10\%$ діапазону експертного висновку щодо критерія ПСВ-

Висновки

1. У ході дослідження розроблено та реалізовано багатокритеріальну модель вибору технологій екологічно безпечного водовідведення, яка ґрунтується на поєднанні принципів системного аналізу та холярхічного опису взаємозв'язків між критеріями.

2. На основі аналізу наукових джерел сформовано комплексну критеріальну базу, що відображає ключові аспекти впливу технологій водовідведення на стан водних екосистем і якість життєвого середовища.

3. Створення моделі у середовищі Super Decisions дало змогу реалізувати метод MAC, врахувавши ієрархічні і зворотні зв'язки між елементами моделі та забезпечити автоматичне обчислення локальних і глобальних пріоритетів альтернативних технологій.

4. Проведений аналіз чутливості підтвердив стійкість отриманих результатів до експертної невизначеності. Навіть за умови варіювання ваг значущих критеріїв у межах реалістичних інтервалів, ранжування ключових альтернатив практично не змінюється. Це свідчить про надійність моделі та обґрунтованість прийнятого рішення.

Література

1. Дмитрієва, О. О., & Хоренжая, І. В. (2013). *Екологічно безпечне водовідведення з території м. Одеса в аварійних ситуаціях*. Харків: Вид-во Іванченко.
2. Дмитрієва, О. О., Телюра, Н. О., & Василенко, В. П. (2018). Впровадження екологічно безпечного водовідведення як елемент сталого розвитку населених пунктів України. *Комунальне господарство міст*, 7(146), 174–179. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-174-179>
3. Бояринова, К., & Бичковська, А. (2020). Проблеми та перспективи впровадження екологічних інновацій на підприємствах. *Підприємництво та інновації*, 14, 19–24. <http://ei-journal.in.ua/index.php/journal/article/view/361>
4. Телюра, Н. О., & Іващенко, Ю. І. (2023). Спосіб вибору технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах України, розташованих на евтрофованих водних об'єктах. *Екологічна та радіаційна безпека*, 1(1), 57–62.
5. Шаманський, С. Й., & Бойченко, С. В. (2018). *Інноваційні екологічно безпечні технології у водовідведенні*. Київ: Центр учбової літератури.
6. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції*. (2020). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.
7. Kim, Y.-H., et al. (2018). Selection criteria for drinking water treatment technologies. *Journal of Environmental Science & Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*.
8. Tahir, F., et al. (2020). Sustainable decision-making framework for wastewater treatment plant selection. *Sustainability*.
9. Multi-criteria analysis in the selection of appropriate technologies for small-scale water supply systems. (2019). *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*.
10. Дмитрієва, О. О., Хоренжая, І. В., Василенко, В. П., та ін. (2022). Розробка методичного підходу до вибору технології фітореMediaції для очищення різних видів стічних вод. У *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* (Матеріали XVIII

Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 15–16 вересня 2022 р.). Харків: УкрНДІЕП.

11. Маковий, К., Хицкова, Ю., & Проскурин, Д. (2017). Использование метода анализа иерархий при выборе стратегических альтернатив внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих столов в ВУЗе. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, 13(4), 296–303. <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.4.344>
12. Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. Springer.
13. Super Decisions. (n.d.). *Super Decisions manuals*. Retrieved January 10, 2026, from <https://www.superdecisions.com/manuals/>
14. Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS Publications.
15. Saaty, T. L., & Ergu, D. (2015). When is a decision-making method trustworthy? Criteria for evaluating multi-criteria decision-making methods. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14(6), 1171–1187. <https://doi.org/10.1142/S021962201550025X>

References:

1. Dmytriieva, O. O., & Khorenzhaia, I. V. (2013). *Ekolohichno bezpechne vodovidvedennia z terytorii m. Odesa v avariinykh sytuatsiakh*. Kharkiv: Vyd-vo Ivanchenko.
2. Dmytriieva, O. O., Teliura, N. O., & Vasylenko, V. P. (2018). Vprovadzhennia ekolohichno bezpechnoho vodovidvedennia yak element staloho rozvytku naselenykh punktiv Ukrainy. *Komunalne hospodarstvo mist*, 7(146), 174–179. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-174-179>
3. Boiarynova, K., & Bychkovska, A. (2020). Problemy ta perspektyvy vprovadzhennia ekolohichnykh innovatsii na pidpriemstvakh. *Pidpriemnytstvo ta innovatsii*, 14, 19–24. <http://ejournal.in.ua/index.php/journal/article/view/361>
4. Teliura, N. O., & Ivashchenko, Yu. I. (2023). Sposib vyboru tekhnolohichnoho zakhodu ekolohichno bezpechnoho vodovidvedennia v naselenykh punktakh Ukrainy, roztashovanykh na evtrofovanykh vodnykh ob'ekтах. *Ekolohichna ta radiatsiina bezpeka*, 1(1), 57–62.
5. Shamanskyi, S. Y., & Boichenko, S. V. (2018). *Innovatsiini ekolohichno bezpechni tekhnolohii u vodovidvedenni*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury.
6. *Ekolohiia, neoekolohiia, okhorona navkolyshnoho seredovyshcha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia: Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii*. (2020). Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina.

7. Kim, Y.-H., et al. (2018). *Selection criteria for drinking water treatment technologies. Journal of Environmental Science & Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering.*
8. Tahir, F., et al. (2020). *Sustainable decision-making framework for wastewater treatment plant selection. Sustainability.*
9. *Multi-criteria analysis in the selection of appropriate technologies for small-scale water supply systems. (2019). International Journal of Sustainable Development & World Ecology.*
10. Dmytriieva, O. O., Khorenzhaia, I. V., Vasylenko, V. P., ta in. (2022). *Rozrobka metodychnoho pidkhodu do vyboru tekhnolohii fitoremediatsii dlia ochyshchennia riznykh vydiv stichnykh vod. In Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia (Materialy XVIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Kharkiv, 15–16 veresnia 2022 r.). Kharkiv: UkrNDIEP.*
11. Makovyi, K., Khitskova, Yu., & Proskurin, D. (2017). *Ispolzovanie metoda analiza ierarkhii pri vybore strategicheskikh alternativ vnedreniia infrastruktury virtualnykh rabochikh stolov v VUZe. Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie, 13(4), 296–303. <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.4.344>*
12. Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. Springer.*
13. *Super Decisions. (n.d.). Super Decisions manuals. Retrieved January 10, 2026, from <https://www.superdecisions.com/manuals/>*
14. Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. RWS Publications.*
15. Saaty, T. L., & Ergu, D. (2015). *When is a decision-making method trustworthy? Criteria for evaluating multi-criteria decision-making methods. International Journal of Information Technology & Decision Making, 14(6), 1171–1187. <https://doi.org/10.1142/S021962201550025X>*

Відомості про авторів / About the Authors

Гриценко Анатолій Володимирович – доктор географічних наук, професор.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-89; e-mail: direktorniiep@gmail.com.

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7156>

Gritsenko Anatoliy Vladimirovich – Doctor of Geographical Sciences, Professor.

Research institution «Ukrainian Research Institute for Environmental Problems», USRIEP. Kharkiv; phone: 057-702-15-89; e-mail: direktorniiep@gmail.com.

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7156>

Дмитрієва Олена Олексіївна – доктор економічних наук, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7494-0674>, e-mail: dmtrieva.olena@gmail.com.

Dmytriieva Olena Oleksiyivna – Doctor of Economics, Deputy Director for Scientific Work and Research Marketing, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, (USRIEP). Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7494-0674>, e-mail: dmtrieva.olena@gmail.com

Цапко Наталія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, перший заступник директора, «Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» УКРНДІЕП, м. Харків; тел. 057-702-16-01; Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2480-3636>, e-mail: tsapkonatali@gmail.com.

Tsapko Nataliia Serhiivna – Candidate of technical sciences, Associate professor, first deputy director, Scientific-Research Institution «Ukrainian Scientific-Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), phone: +38-057-702-16-01, Kharkiv; Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2480-3636>, e-mail: tsapkonatali@gmail.com.

Браткевич Вячеслав Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Кафедра комп'ютерних систем і технологій, м. Харків, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-7217-7767>

Bratkevych Vyacheslav Vyacheslavovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Semyon Kuznets Kharkiv National Economic University, Department of Computer Systems and Technologies, Kharkiv, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-7217-7767>

ГОЛОВНІ ЧИННИКИ ПРОНИКНЕННЯ АДВЕНТИВНИХ ВИДІВ РОСЛИН НА ТЕРИТОРІЮ УКРАЇНИ

Розглянуто основні шляхи проникнення адвентивних видів рослин на територію України. Встановлено велику роль у появі нових інвазійних рослин скидання у природних водойми інвазійних рослин з акваріумів та декоративних ставків. Наведено аналіз результатів досліджень інвазій у річки Харківської області пістії та ейхорнії. Встановлено появу пістії у харківських річках навіть коли її запуску не було. Це відбувалося за рахунок раніше нагромадженого в річках насіння, коли відзначалося цвітіння пістії. Це спостерігалось у 2014-2020 роках. У 2021 році разом пістією в річках виявлено також ейхорнію.

Ключові слова: адвентивні рослини, чинники проникнення, пістія, ейхорнія.

The main factors of the penetration of adventitious plant species into the territory of Ukraine are considered. The important role of the discharge of invasive plants from aquariums and ornamental ponds into natural water bodies in the emergence of new invasive plants is established. The results of research on the invasion of *Pistia* and *Eichhornia* into the rivers of the Kharkiv region are summarized. The appearance of *Pistia* in Kharkiv rivers has been established even when it was not launched. This occurred due to seeds previously accumulated in the rivers, when *Pistia* flowering was noted. This was observed in 2014-2020. In 2021, together with *Pistia*, *Eichhornia* was also found in the rivers.

Keywords: adventitious plants, penetration factors, *Pistia*, *Eichhornia*.

Актуальність. Вплив інвазійних рослин на довкілля України зростає з кожним роком. За рівнем адвентизації флори Україна займає досить високе місце серед інших флор світу. Особливу небезпеку для водойм України на сучасному етапі становлять 4 види рослин, у тому числі пістія (*Pistia stratiotes*). З цих позицій визначення головних шляхів проникнення інвазійних рослин допомагає позначити джерела та напрямки поширення таких рослин. Важливою обставиною є суттєва активізація процесів адвентизації флори України останнім часом, що відзначається багатьма дослідниками. Це визначає актуальність представленої роботи.

Мета роботи та методи дослідження. Метою роботи було встановлення головних чинників проникнення на територію України інвазійних рослин. Методи дослідження включали збір та аналіз даних за фактами появи нових інвазійних рослин в Україні, а також результатів власних досліджень зокрема джерел появи в харківських річках пістії тілоризовидної (*Pistia stratiotes*) та ейхорнії гіацинтової (*Eichhornia crassipes*).

Результати досліджень. Проникненню адвентивних видів рослин на територію України як і у минулому, так і наразі сприяє цілий комплекс чинників. До основних належать:

- природні чинники - розсіювання насіння вітром та водою, зміни клімату, зміни умов середовища, пожежі, повені та інші природні явища, які сприяють переміщенню рослин та їхнього насіння;
- антропогенні чинники - інтродукція для декоративного озеленення, сільське господарство, міжнародна торгівля тощо. Основною причиною появи чужорідних видів у неприродні для них екосистеми вважається людська діяльність [1].

Відмічається істотне збільшення небезпеки завезення адвентивних рослин через розширення торговельних відносин із багатьма країнами світу. Разом з продукцією відбувається обмін небезпечними організмами. Завозяться нові види шкідників, хвороб та бур'янів, які часто знаходять в іншій країні більш сприятливі умови для свого розмноження та поширення ніж на своїй батьківщині. Також існує небезпека завезення цих видів з тарою, транспортними засобами, пакувальним матеріалом, валізами пасажирів, із залишками ґрунту на коренях рослин [2].

Русла річок Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Дніпра та інших також ефективні міграційні канали, якими з більш північних і західних районів поширюються види адвентивних рослин, окремі види, які там уже натуралізувалися [3].

Одним із «коридорів» проникнення адвентивних, у т. ч. й інвазійних видів на нові території є транспортні шляхи (автомобільні та залізничні), якими перевозяться різні вантажі, які, своєю чергою, часто містять насіння чужоземних бур'янів [4]. Крім того, саме вздовж дорожніх шляхів спостерігається значне порушення рослинного покриву, де заносним видам легше утриматись у фітоценозах, поширюючись далі на прилеглі території. І саме у великих містах найкраще розвинена транспортна мережа, де одним із шляхів проникнення антропофітів у природні рослинні угруповування є залізничні шляхи, завдяки яким відбувається поступове поповнення регіональної флори адвентивними видами рослин [5].

У літературі відзначається постійне зростання інтродукції нових рослин у сучасному світі. У той же час з інтродукційною роботою часто пов'язане поширення інвазійних рослин. Причому наслідки інтродукції іноді можуть бути непередбачуваними. Інвазія агресивних інтродукованих видів нині є частиною глобальних природних змін, які досить часто призводять до суттєвих втрат біологічного різноманіття та біологічного забруднення екосистем. Зазвичай вторгнення інвазійних видів веде до значних економічних втрат і навіть становить загрозу для здоров'я людей. Іноді інвазія іноземних видів викликає справжні екологічні катастрофи, спричиняючи суттєві зміни природної флори та витісняючи аборигенні види [6].

Інтродукція рослин може бути і стихійною. Причому стихійна, або спонтанна інтродукція рослин здійснюється людиною без достатнього наукового обґрунтування, нерідко призводить до ненавмисного заносу чужоземних рослин, які часто стають злісними бур'янами [7].

В цілому, частка інвазійних рослин-втікачів із культури становить значну частку адвентивної флори України - 46,3% [8].

Акваріумісти та аматори декоративних водойм часто нехтують утилізацією рослин та випускають їх у природні водойми. Тому, ще наприкінці 1970-х років відмічалася значна роль занесення до природних водойм «екзотичних» тварин і рослин з аматорських акваріумів [9].

Великим фактором появи нових інвазійних рослин вважається світова торгівля декоративними рослинами, яка постійно зростає як за їх спектром, так і за кількістю [10]. А продаж екзотичних акваріумних організмів забезпечує прямі шляхи до заселення потенційно інвазивних видів через випуск або їх втечу [11].

Найширше використання в акваріумістиці та ландшафтному дизайні пістії телорезовідної (*Pistia stratiotes*) вважається однією з головних причин її появи в природних водних об'єктах [12].

Пістія є рослиною, яка продається дуже інтенсивно. Наприклад, у середньорічному обсязі купівлі водяних рослин у Великому Торонто пістія, серед понад 350 видів, займає друге місце [13]. Разом з пістією в меншій кількості часто виявляється ще одна інвазійна рослина - водний гіацинт (*Eichhornia crassipes*), що підтверджує гіпотезу про появу цих рослин через необдумані дії людини.

Поява пістії у Харківській області пов'язана з випуском з акваріумів. Вперше рослина була знайдена нами у 2013 році у смт. Есхар у Харківській області та річці Уди біля Пташиного ринку у м. Харків.

Проведені дослідження показали, що у 2013-2015 роках рослина утворила стійку популяцію і мала всі притаманні їй властивості: здатність до відтворення, розповсюдження, зайняття певної екологічної ніші, а також впливу на гідрохімічний та гідробіологічний режими річки. При цьому вже у рік первинної появи у річці (2013р.) пістія поширилася на відстань 120км – від смт. Есхар до м. Балаклія. При цьому на всій ділянці поширення знаходили квітучі рослини [14-16].

У прохолодні літні періоди 2017-2019рр пістія в річці Сіверський Донець не виявлялася. Проте, рослина була виявлена у цій річці у вересні 2020 року. Пістія перебувала в літоральної зоні на глибині 0,2-0,3 м. Загалом 2020 рік характеризувався дуже низьким рівнем води, що збільшило прогрів донних відкладів, в яких могли знаходитися насіння пістії. Останній рік, коли у річці Сіверський Донець знаходили квітучу пістію був 2016. Тому знаходження цієї рослини у 2020 році говорить про збереження життєздатності насіння пістії, які пролежавши кілька років у донних відкладах річки, зійшли, коли рівень води в річці впав, а температура відкладень піднялася. Це свідчить про хорошу живучість насіння пістії, яке може зберігати схожість 4-5 років [17].

Розвиток пістії у річках Харківської області у 2013-2025рр представлений у таблиці.

Таблиця – Розвиток пістії у річках Харківської області у 2013-2025рр, [30-34]

Рік	Показники					
	Розповсюдження, км	Чи було цвітіння	Максимальні		Загальна біомаса (розрах.), т	Причина появи
			Біомаси в скупченнях, кг/м² с. в.	Кількість сходів, екз/м²		
2013	120	Так	4,6	2200	3152,5	В*
2014	51	Так	31,5	1000	2886,0	Сх*
2015	3	Так	3,5	50	Незначна	
2016	На окремих ділянках річок	Так	0,9	30	Незначна	
2017-2019	Рослин не було					
2020	20	Не було	1,5	30	Незначна	Сх
2021	3,5км в р. Лопань та 0,5км в р. Харків	Не було	4,9	Не було	Незначна	В
2022-2025	Рослин не було					

**) Примітки: В - випуск з акваріумів та декоративних ставків; Сх - сходи насіння, яке скупчилося в річці*

Таким чином, навіть одноразове внесення пістії в природні водойми східної України дозволило їй прижитися в новому місці. У роки, коли внесення рослин у природні водойми не було, пістія з'являлася через сходи насіння, що скупчилося у попередні роки.

У той же час, пістія у харківських річках була знайдена знову у вересні 2021 року. Разом із пістією була знайдена ейхорнія гіацинтова (*Eichhornia crassipes*). Скупчення рослин знаходилися в м. Харків в річці Лопань (в районі Павлівського мосту) та в річці Харків (нижче мосту Чигіріна). Чергова поява цієї інвазійної рослини пов'язана, на нашу думку, вже не з накопиченим раніше насінням, а зі скиданням рослин з акваріумів та декоративних ставків, що є біля річки Лопань, в районі Олексіївського лугопарку у м. Харків [17].

На сьогодні пістія продовжує з'являтися у природних водоймах України, про що свідчать нещодавні її знаходження у Київській області та м. Одеса (Савицький О. Л., Триліс В. В., 2023; Герасимюк В. П., 2023). Тому моніторинг її появи та розробка боротьби з цією інвазійною рослиною повинні продовжуватися.

Висновок

Проникненню адвентивних видів рослин на територію України сприяє цілий комплекс як антропогенних, так і природних чинників. Суттєвим фактором появи нових інвазійних рослин є скидання у природні водойми інвазійних рослин з акваріумів та декоративних ставків. Про це свідчать результати досліджень інвазії у водоймах України пістії та ейхорнії.

Література

1. Діденко В. І., Кічігіна О. О., Постоєнко Д. М. та ін. Чужорідні види рослин нектароносів у флорі України. - Агроекологічний журнал № 3. – 2024. – С. 72-81. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311182>
2. Бурдуланюк А.О., Бережний М.В, Дмитренко В.Ю. Обмежено поширені карантинні шкідники України та динаміка їх поширення. - «Гончарівські читання»: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. - Суми, 2022. - С. 136-139.
3. Протопопова В.В., Шевера М.В., Мосякін С.Л. та ін. Інвазійні види у флорі Північного Причорномор'я. – Київ: Фітосоціоцентр, 2009. – 56 с.
4. Васильєва-Немерцалова Т.В., Ширяєва В.П., Коваленко С.Г., Ружицька І.П. Вплив торговельних зв'язків на надходження насіння карантинних бур'янів. Український ботанічний журнал. 1995. Т. 52. № 5. С. 664–671.
5. Бесарабчук І. В. Роль залізничного транспорту у поширенні адвентивних видів рослин на території м. Луцька (Волинська область). - Біологічні дослідження – 2018: Збірник наукових праць. – Житомир: ПП «Рута», 2018. –С. 345-346.
6. Роговський С.В. Інтродукція рослин і екологічна безпека - збереження різноманіття рослинного світу у ботсадах та дендропарках: традиції, сучасність, перспективи:

Матеріали міжнародної наукової конференції до 230-річчя дендропарку «Олександрія» НАН України. – Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук», 2018. – С. 334-340.

7. Сікура Й. Й., Капустян В. В. Інтродукція рослин (її значення для розвитку цивілізації, ботанічної науки та збереження різноманіття рослинного світу). Київ : Фітосоціоцентр, 2003. С. 73.

8. Protopopova V.V., Shevera M.V. 2014. Ergasiophytes of the Ukrainian flora. Biodiversity: Research and Conservation. 35: 31–46. <https://doi.org/10.2478/biocr-2014-0018>

9. Mykolayiv I.I. Naslidky neperedbachuvanoho antropohennoho rozselennya vodnoyi fauny ta flory. U kn. "Ekolohichne prohnouzuvannya". - Nauka, 1979. - S. 76-93.

10. Jacob Maher et al. Weed wide web: characterising illegal online trade of invasive plants in Australia. - NeoBiota 87: 45–72 (2023) doi: 10.3897/neobiota.87.104472 <https://neobiota.pensoft.net>

11. Дж. Joseph V. Brown, William E. Kelso, Rodrigo Diaz et al. Invasive species in the aquarium trade: survey of attitudes, behaviors, and knowledge among US participants. – Hydrobiologia, 2025. – 17p. <https://doi.org/10.1007/s10750-025-05930-1>

12. Афанасьев С. А., Савицкий А. Л. Находка пистии телорезовидной *Pistia stratioides* в Каневском водохранилище и оценка риска ее натурализации. - Гидробиологический журнал. - Т. 52. - № 4. 2016. – Київ: - С. 55-63.

13. Azan Shakira Stephanie Elaine. Invasive aquatic plants and the aquarium and ornamental pond industries (2011). Theses and dissertations. Paper 818.

14. Vasenko O. H., Starko N. V., Vernychenko-Tsvyetkov D. YU., Lunhu M. L., Persianov H. V. Pro poyavu pist tilorezopodibnoyi (*Ristia stratiotes*) u vodnykh ob'yektakh kharkivs'koyi oblasti. - IX Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. "Ekolohichna bezpeka: problemy ta shlyakhy vyrishennya": Zb. nauk. st. u 2-kh t. T. T. 1/ UkrNDIYEP. - Kharkiv: Rayder, 2013. - S. 190-195.

15. Vasenko O. H., Starko N. V., Vernychenko-Tsvyetkov D. YU., Milanych A. YU. Pistiya tilorezopodibna (*Ristia stratiotes*) u vodnykh ob'yektakh Kharkivs'koyi oblasti//X Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. "Ekolohichna bezpeka: problemy ta shlyakhy vyrishennya": Zb. nauk. st. / NDU «UKRNDIYEP». - KH.: Rayder, 2014. - S. 43-48.

16. Vasenko O. H., Starko N. V., Vernychenko-Tsvyetkov D. YU. Deyaki pidsumky vyvchennya stanu pysti tilorezopodibnoyi (*Ristia stratiotes*) u vodnykh ob'yektakh Kharkivs'koyi oblasti. - Ekolohichna bezpeka: problemy ta shlyakhy vyrishennya: zb. nauk. st. XI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. UKRNDIYEP. - Kharkiv: Rayder, 2015. - S. 48-52.

17. Vernychenko-Tsvytkov D.YU., Starko M. V., Hutkov H.V. ta in. Vyyavlennya vidnovlennya populyatsiyi pistiyi tiloryzovydnoyi (*Ristia stratiotes*) u richkakh Sivers'kyy Donets' ta Kharkiv. - Problemy okhorony navkolish. pryrodnoyi seredovyscha ta ekolohichnoyi bezpeky: zb. nauk. pr./UKRNDIYEP; KHNU imeni V. N. Karazina – Kharkiv: PP «Styl'-Izdat», 2020. - Vyp.42. - S. 98-108.
18. Старко М. В. Небезпека появи та поширенні пістії у водних об'єктах України (на прикладі її розповсюдження у Харківській області). - The 9th International scientific and practical conference “Global trends in science and education”. – Kyiv: 2025. – С. 41-46.

References

1. Didenko V. I., Kichihina O. O., Postoyenko D. M. ta in. Chuzhoridni vydy roslyn nektaronosiv u flory Ukrayiny. – *Ahroekolohichnyy zhurnal* № 3. – 2024. – S. 72-81. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311182>
2. Burdulanyuk O.O., Berezhnyy M. V, Dmytrenko V.YU. Obmezheno poshyreni karantynni shkidnyky Ukrayiny ta dynamika yikh poshyrennya. – «Honcharivs'ki chytannya»: *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi*. – Sumy, 2022. – S. 136-139.
3. Protopopova V.V., Shevera M.V., Mosyakin S.L. ta in. Invazyini vydy u flory Pivnichnoho Prychornomor'ya. – Kyiv: Fitosotsiotsentr, 2009. – 56 s.
4. Vasylyeva-Nemertsalova T.V., Shyryayeva V.P., Kovalenko S.H., Ruzhyts'ka I.P. Vplyv torhovel'nykh zv'yazkiv na nadkhodzhennya nasinnya karantynnykh bur'yaniv. *Ukrayins'kyy botanichnyy zhurnal*. 1995. T. 52. № 5. S. 664-671.
5. Besarabchuk I. V. Rol' zaliznychnoho transportu u poshyreni adventyvnykh vydiv roslyn na terytoriyi m. Luts'ka (Volyns'ka oblast'). - *Biolohichni doslidzhennya* – 2018: Zbirnyk naukovykh prats'. - Zhytomyr: PP «Ruta», 2018. -S. 345-346.
6. Rohovs'kyy S.V. Introduktsiya roslyn ta ekolohichna bezpeka - zberezhennya riznomanittya roslynnoho svitu u bot-sadakh ta dendroparkakh: tradytsiyi, suchasnist', perspektyvy: *Materialy mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi do 230-richchya dendroparku «Oleksandriya» NAN Ukrayiny*. – Bila Tserkva: TOV «Bilotserkivdruk», 2018. – S. 334-340.
7. Sikura Y. Y., Kapustyan V. V. Introduktsiya roslyn (yiyi znachennya dlya rozvytku tsyvilizatsiyi, botanichnoyi nauky ta zberezhennya riznomanitnosti roslynnoho svitu). Kyiv: Fitosotsiotsentr, 2003. S. 73.
8. Protopopova V.V., Shevera M.V. 2014. Ergasiophytes of the Ukrainian flora. *Biodiversity: Research and Conservation*. 35: 31-46. <https://doi.org/10.2478/biorc-2014-0018>
9. Mykolayiv I.I. Naslidky nepereredbakhovannoho antropohennoho rozselennya vodnoy fauny ta flory. U kn. "Ekolokhichne prozhozuvannya". - Nauka, 1979. - S. 76-93.

10. Jacob Maher ta in. *Weed wide web: kharakteryzuyuchy illegal online trade of invasive plants in Australia.* - *NeoBiota* 87: 45–72 (2023) doi: 10.3897/neobiota.87.104472 <https://neobiota.pensoft.net>
11. Dzh. Joseph V. Brown, William E. Kelso, Rodrigo Diaz ta in. *Bezdohanni vydy v akvariyu trade: survey of attitudes, behaviors, i znannya sered US participants.* - *Hydrobiologia*, 2025. - 17r. <https://doi.org/10.1007/s10750-025-05930-1>
12. Afanas'yev S. A., Savyts'kyi A. L. *Znakhidka pist tilorezopodibnoyi Pistia stratioides v Kanivs'komu vodoskhovyshchi ta otsinka ryzyku yiyi naturalizatsiyi.* - *hidrobiolohichnyy zhurnal.* – T. 52. – № 4. 2016. – Kyiv: – S. 55-63.
13. Azan Shakira Stephanie Elaine. *Invasive aquatic plants and aquarium and ornamental pond industries (2011). Tsii i rozpovsyudzhennya. Paper 818.*
14. Vasenko O. N., Starko N. V., Vernychenko-T-svytkov D. YU., Lunkhu M. L., Persyanov N. V. *Pro poyavu pist tilorozopodibnoy (Ristia stratiotes) u vodnykh ob'yektakh kharkivsnevkoy.* - IX Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. "Ekolokhichna bezpeka: problemy ta shlyaky vyrishennya": Zb. nauk. st. u 2-kh t. T. T. 1/ UkrNDIYEP. - Kharkiv: Rayder, 2013. - S. 190-195.
15. Vasenko O. N., Starko N. V., Vernychenko-T-svytkov D. YU., Milanych A. YU. *Pistiya tilorezopodibna (Ristia stratiotes) u vodnykh ob'yektakh Kharkivs'koyi oblasti//X Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. "Ekolokhichna bezpeka: problemy ta shlyaky vyrishennya": Zb. nauk. st. / NDU "UKRNDIYEP". – KH.: Rayder, 2014. – S. 43-48.*
16. Vasenko O. N., Starko N. V., Vernychenko-T-svytkov D. YU. *Deyaki pidsumky vyvuchennya stanu pysti tilorezopodibnoyi (Ristia stratiotes) pry vodnykh ob'yektakh Kharkivs'koyi oblasti.* - *Ekolokhichna bezpeka: problemy ta shlyaky vyrishennya: zb. nauk. st. XI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. UKRNDIYEP.* - Kharkiv: Rayder, 2015. - S. 48-52.
17. Vernychenko-T-svytkov D.YU., Starko M. V., Khutkov N.V. ta in. *Vyyavlenye vynovlennya populyatsiyi pistiyi tiloryzovydnoyi (Ristia stratiotes) u richkakh Sivers'kyy Donets' ta Kharkiv.* - *Problemy navkolyshn'oho seredovyscha. pryrodnoyi seredovyscha ta ekolohichnoyy bezpeky: zb. nauk. pr./UKRNDIYEP; KHNU imeni V. N. Karazina - Kharkiv: PP «Styl-Izdat», 2020. - Vyp.42. - S. 98-108.*
18. Starko M. V. *Opasnist' poyavy ta poshyrennya pistiyi u vodnykh ob'yektakh Ukrayiny (na prykladi yiyi rozpovsyudzhennya v Kharkivs'kiy oblasti).* - *The 9th International scientific and practical conference "Global trends in science and education".* - Kyiv: 2025. - S. 41-46.

Відомості про авторів / About the Authors

Васенко Олександр Георгійович – кандидат біологічних наук, доцент. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,

УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-85, e-mail: alexandr.vasenko@gmail.com., Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Vasenko Oleksandr Heorhiyovych – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: 057-702-15-85, e-mail: alexandr.vasenko@gmail.com., Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Старко Микола Вікторович – старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: +38(097)883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Starko Mykola Viktorovich– senior. scientificstaff. Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», USRIEP. Kharkiv; Phone: +38(097)883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Черба Ольга Володимирівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, Харків; тел.: (057) 702-15-85, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8600-1319>

Cherba Olga Volodymyrivna – Researcher. Associate Professor. Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», USRIEP, Kharkiv; phone: (057) 702-15-85, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8600-1319>

Пономаренко Дмитро Володимирович - начальник відділу техногенно-екологічної безпеки та водних об'єктів Регіонального офісу водних ресурсів у Харківській області, РОБР, Харків; e-mail: tebivo@ukr.net.

Ponomarenko Dmytro Volodymyrovych - Head of the Department of Technogenic and Environmental Safety and Water Facilities of the Regional Office of Water Resources in the Kharkiv Region, Regional Office of Water Resources, Kharkiv; e-mail: tebivo@ukr.net.

ГОЛОВНІ ШЛЯХИ ПОЯВИ ЧУЖОРІДНИХ ВИДІВ РИБ У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ УКРАЇНИ

Інвазивні види риб становлять одну з головних загроз глобальному стану їхтіоценозів водних об'єктів. Головними шляхами розповсюдження інвазійних риб є природне розповсюдження, навмисна та випадкова інтродукції, акваріумістика. Кожен річний басейн має власні особливості в залежності від багатьох причин. У статті визначено основні шляхи проникнення інвазійних видів риб у водні об'єкти України. Встановлено зростання кількості чужорідних видів риб у басейнах основних річок країни. Проаналізовано роль інтродукції у появі у водних об'єктах України інвазійних видів риб. Обґрунтовано необхідність проведення оцінки екологічного стану водних об'єктів після вселення чужорідних видів риб.

Ключові слова: чужорідні види, шляхи проникнення, інтродукція риб, оцінка екологічного стану.

Invasive fish species pose one of the main threats to the global state of aquatic ecosystems. The main ways of spreading invasive fish are natural distribution, intentional and accidental introductions, and aquarium farming. Each river basin has its own characteristics depending on many reasons. The article identifies the main ways of penetration of invasive fish species into water bodies of Ukraine. The main routes of penetration of invasive fish species into Ukrainian water bodies have been identified. An increase in the number of alien fish species in the basins of the country's major rivers has been established. The role of introduction in the appearance of invasive fish species in Ukraine's water bodies has been analyzed. The need to assess the ecological status of water bodies after the introduction of alien fish species has been substantiated.

Keywords: alien species, ways of appearance, introduction of fish, assessment of ecological status.

Актуальність. Біологічні інвазії чужорідних видів є глобальною екологічною проблемою. В останні десятиліття відзначається зростання процесу проникнення видів-вселенців в екосистеми, насамперед у зв'язку зі значним зростанням антропогенного навантаження на навколишнє середовище та кліматичними змінами.

Тому актуальність визначення шляхів потрапляння інвазійних видів риб у водні об'єкти України зумовлена руйнівними наслідками їхнього впливу на біорізноманіття іхтіоценозів, через харчову конкуренцію, життєвий простір та хижацтво. Це є критично важливим під час розроблення ефективних заходів запобігання незворотним екологічним збиткам водним екосистемам країни.

Мета роботи та методи дослідження. Метою статті є встановлення головних шляхів появи інвазійних видів риб у водних об'єктах України. Для цього проведено аналіз доступних літературних джерел та власних матеріалів, отриманих під час виконання натурних досліджень у межах бюджетних та госпдоговірних наукових тем.

Виклад основного матеріалу. Інвазійні види становлять одну з основних загроз глобальному біорізноманіттю завдяки їх здатності змінювати біологічну цілісність і екологічне функціонування місцевих водних екосистем [1]. Значні кліматичні зміни, активна гідротехнічна діяльність людини, масштабне переселення та інтродукція тварин у новостворені гідроекосистеми призвели до стрімкого поширення за межі природних історичних ареалів багатьох видів гідробіонтів [2]. В умовах глобалізації та посиленого антропогенного впливу на довкілля все більшої актуальності набуває проблема поширення інвазійних видів риб у внутрішніх водоймах України [3].

Посилення антропогенного впливу на річкові екосистеми у багатьох випадках призводить до суттєвих змін складу іхтіофауни аж до повного зникнення окремих видів та домінування інших, насамперед нечисленних. Перебудови у складі рибного населення відбуваються під впливом комплексу факторів, серед яких одні (порушення міграційних шляхів риб, хімічне забруднення водного середовища тощо) знижують видове розмаїття фауни риб, а інші (розширення видового складу риб, що вирощуються в рибних господарствах, міжбасейнові перекидання стоку річок тощо) сприяють його зростанню.

Результати численних досліджень свідчать про значні зміни ареалів багатьох видів риб під прямим або опосередкованим впливом антропогенних чинників. Зазначається, що поряд зі зменшенням ареалів уразливих або зникаючих видів відбувається активне поширення видів-інтервентів, об'єктів інтродукції рибництва та випадкових вселенців, що істотно трансформуює іхтіофауну окремих басейнів річок і країни загалом. Так, у басейні р. Дніпро за період від початку XX ст. до 2021 року встановлено збільшення кількості чужорідних видів риб у 28 разів (табл. 1).

Таблиця 1 – Динаміка появи чужорідних видів риби у басейні Дніпра [2, 4]

Період	Кількість видів		
	Аборигенних	Чужорідних	
		Адвентивних	Інвазійних
До початку ХХ ст.	47	0	0
1926 – 1937 роки	47	9	5
1938 – 1955 роки	43	23	15
1950 – кінець 1970-х років	40	25	2
Кінець 1970-х років – 2019 рік	47	28	17
2021 рік	40	28	17

Подібні явища спостерігалися і в басейнах інших річок України. Значні зміни кількості чужорідних видів риби відбулися у басейні р. Дністер. Динаміка цих змін з 1930-х років до наших днів наведена на рис. 1.

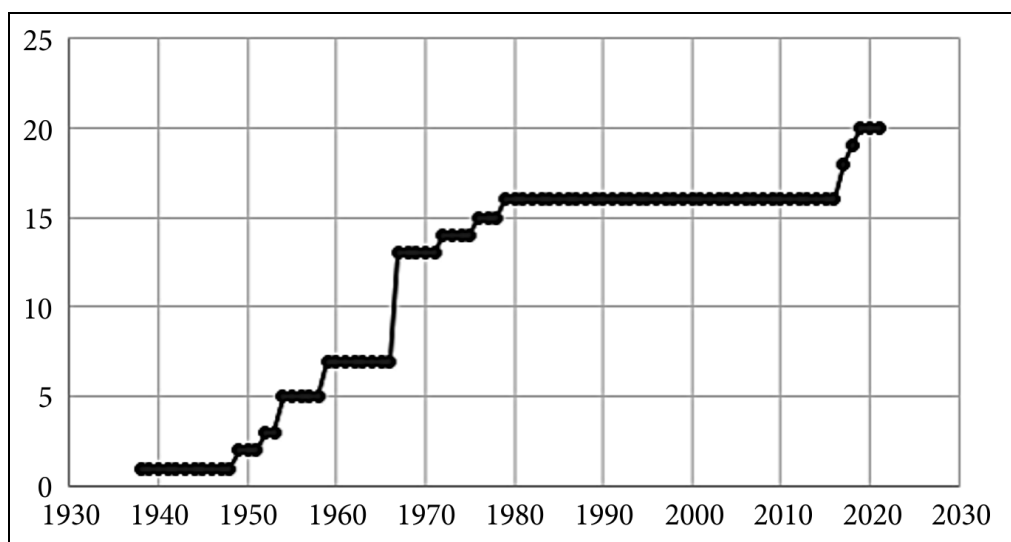


Рисунок 1 – Динаміка появи чужорідних видів риби у басейні р. Дністер [5]

Одним зі шляхів появи чужорідних видів риби є їх природне розселення, якому сприяють міжбасейнові перерозподіли стоку річок. Так, наприкінці минулого століття, у басейні р. Сіверський Донець масово з'явилася чорноморська голка-риба пухлощока *Syngnathus nigrolineatus*. Вперше її було виявлено у Краснопавлівському та Орільківському водосховищах, що входять до системи каналу Дніпро – Донбас, введенного в експлуатацію у 1980-х роках [6]. Через цей канал з басейну р. Сіверський Донець до р. Дніпро могли також потрапити колюшки триголкова *Gasterosteus aculeatus*, мала південна *Pungitius platigaster* та інші чужорідні риби.

Важливу роль у появі чужорідних видів риби відіграє їх інтродукція – переселення видів за межі їхнього природного ареалу за участю людини. Хоча таке

вселення нових видів риб часто має економічне обґрунтування, воно може призводити до значних екологічних втрат. Це неодноразово відмічалось під час вселення у дніпровські водосховища далекосхідних рослиноїдних риб.

У 1940-х роках з метою боротьби з переносниками малярії у водойми Харківської області вселялася гамбузія хольбруцька *Gambusia holbrooki* [7]. Надалі в більшості водойм цей вид не витримав суворих зимових умов і зник, проте поодинокі знахідки гамбузії досі фіксуються в р. Сіверський Донець поблизу смт Есхар [8].

З розширенням видового складу риб, що вирощувалися як у ставкових господарствах та водосховищах різного призначення, до р. Сіверський Донець почали потрапляти чужорідні риби з рибних господарств – товстолобики білий *Hypophthalmichthys molitrix* і строкатий *Aristichthys nobilis*, амур білий *Ctenopharyngodon idella* та інші [9]. У ряді випадків здійснювалося навіть направлене зариблення цими рибами Сіверського Донця. Так, на початку ХХ століття це неодноразово робило колишнє Лиманське державне виробниче сільськогосподарсько-рибоводне підприємство.

Окремі чужорідні види риб занесено в Україну випадково – при вселенні інших видів, як це сталося з амурським чебачком *Pseudorasbora parva*.

На сьогодні інтродукція нових видів у водойми України відбувається стихійно і неконтрольовано. При цьому нерідко фіксується несанкціонований випуск у водойми екзотичних видів, пов'язаний із декоративним рибицтвом та акваріумістикою [10].

Аналіз літературних джерел і матеріалів власних натурних досліджень дозволив визначити головні шляхи інвазій чужорідних видів риб у басейнах великих річок України (табл. 2).

Таблиця 2 – Головні шляхи появи чужорідних видів риб в українській частині басейнів річок України, % [4 – 9, 11]

Шляхи розповсюдження	Дніпро	Дністер	Західний Буг	Сіверський Донець
Природне розповсюдження	66,8	15,0	33,4	33,3
Навмисна інтродукція	23,3	50,0	33,3	55,5
Випадкова інтродукція	3,3	20,0	16,6	5,6
Акваріумістика	1,4	15,0	16,7	5,6
Невідомо	5,2	–	–	–

Наведені дані свідчать, що основними шляхами проникнення чужорідних видів риб у річки України є навмисна інтродукція та природне розповсюдження. При цьому

їх величини залежать від гідрологічних характеристик та рибогосподарської діяльності в межах кожного басейну. Інші шляхи появи чужорідних видів мають другорядне значення.

Висновки

Результати проведених досліджень підтверджують провідну роль інтродукції у появі у водних об'єктах України нових чужорідних видів риб. Це зумовлює необхідність не лише економічного обґрунтування вселення чужорідних видів риб, а і проведення оцінки екологічного стану водних об'єктів після факту інтродукції. Як показує аналіз іхтіологічної та рибогосподарської літератури, на сьогоднішній день факти виконання оцінки впливу таких робіт на екологічний стан водойм відсутні. Відзначаються лише окремі випадки збільшення вилову риби або зменшення деяких груп гідробіонтів. Тому вивчення екологічних наслідків інтродукції чужорідних видів риб є одним з актуальних завдань сучасної гідроекології.

Література

1. Robinson CV, Garcia de Leaniz C, Rolla M, Consuegra S. (2019) Monitoring the eradication of the highly invasive topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) using a novel eDNA assay. *Environmental DNA*. 00:1–12
2. Новіцький Р.О. Інвазії чужорідних видів риб у дніпровські водосховища: монографія. Дніпро: ЛІРА. 2021. 280 с.
3. Бургаз М.І., Бургаз О.А. Перспективні шляхи вирішення проблеми чужорідних видів іхтіофауни в р. Південний Буг на території НПП «Бузький Гард». *Водні біоресурси та аквакультура*. 2023. Вип. 2. С. 7–18. DOI:10.32782/wba.2023.2.1
4. Новіцький Р.О. Масштаби, спрямованість та наслідки інвазій чужорідних видів риб у Дніпровські водосховища. Дис. ... доктора біол. наук. Київ: Інститут гідробіології. 2019. 367 с.
5. Афанасьєв С.О., Гупало О.О., Лєтицька О.М. та ін. Чужорідні види риб української частини басейну Дністра: розподіл та динаміка розселення. *Гідробіологічний журнал*. 2022. Т. 58, № 3. С. 58–75. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001456841>
6. Vasenko A.G., Starko N. V., Kolesnik A.N., Yevtushenko A.V. O prichinakh i vozmozhnykh posledstviyakh poyavleniya v vodoyemakh Khar'kovskoy oblasti chernomorskoy pukhloshchekoy igly-ryby (*SYNGNATHUS NIGROLINEATUS* EICHWALD, 1831). *Mízhvíd. temat. nauk. zb. "Veterinarna meditsina"*. Kharkív. 2008. S. 85–92

7. Biryukov V.I. Materialy do aklimatyzatsiyi hambuziyi u Kharkivs'kiy oblasti. *Medychna parazytolohiya ta parazytarni khvoroby*. 1944. T. 13 №1. S. 91–92
8. Kolesnyk O.M., Starko N.V., Fomenko O.V. Fauna kruhlorotykhn ta ryb dilyanky richky Sivers'kyy Donets' u mezhakh Zmiyivs'koho rayonu Kharkivs'koyi oblasti. *Visnyk KHNU*, seriya Biolohiya, vyp. 5 (768). Kharkiv. 2007. S. 94–99
9. Goncharov G.L., Novitsky R.O. Adventitious fish species in the Siverskyi Donets River basin. *Fauna of Ukraine on the verge of the 20th-21st centuries. New concepts of zoological research: All-Ukrainian Zoological Conference*. Kharkiv. 2017. Pp. 101–102
10. Шекк П.В., Бургаз М.І. Інтродуценти приморських лиманів північно-західного Причорномор'я. *Водні біоресурси та аквакультура*. № 1(11). Херсон: Видавничий дім «Гельветика». 2022. № 2. С. 32–41
11. Тимошенко Н.В. Інвазивні види риб у річках басейну Західного Бугу в межах України. *Рибогосподарська наука України*. Т. 59, № 1. Київ. 2022. С. 25–44. DOI: <https://doi.org/10.15407/fsu2022.01.025>

References

1. Robinson CV, Garcia de Leaniz C, Rolla M, Consuegra S. (2019) Monitoring the eradication of the highly invasive topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) using a novel eDNA assay. *Environmental DNA*. 00:1–12.
2. Novitskyi R.O. (2021) *Invazii chuzhoridnykh vydiv ryb u dniprovski vodoskhovyshcha: monohrafiia*. Dnipro: LIRA. 280 s.
3. Burhaz M.I., Burhaz O.A. (2023) *Perspektyvni shliakhy vyrishennia problemy chuzhoridnykh vydiv ikhtiofauny v r. Pivdennyi Buh na terytorii NPP «Buzkyi Hard»*. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. Vyp. 2. S. 7–18. DOI: 10.32782/wba.2023.2.1
4. Novitskyi R.O. (2019) *Masshtaby, spriamovanist ta naslidky invazii chuzhoridnykh vydiv ryb u Dniproviski vodoskhovyshcha*. *Dys. ... doktora biolohichnykh nauk*. Kyiv: Instytut hidrobiolohii. 367 s.
5. Afanasiev S.O., Hupalo O.O., Lietytska O.M. ta in. (2022) *Chuzhoridni vydy ryb ukrainskoi chastyny baseinu Dnistra: rozpodil ta dynamika rozselennia*. *Hidrobiolohichniy zhurnal*. T. 58, № 3. S. 58–75. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001456841>
6. Vasenko A.G., Starko N.V., Kolesnik A.N., Yevtushenko A.V. (2008) *O prichinakh i vozmozhnykh posledstviyakh poyavleniya v vodoyemakh Khar'kovskoy oblasti chernomorskoy pukhloshchekoy igly-ryby (SYNGNATHUS NIGROLINEATUS EICHWALD, 1831)*. *Mizhvid. theme. Science zb. "Veterinarna meditsina"*. Kharkiv. S. 85–92.

7. Biryukov V.I. (1944) *Materialy do aklimatyzatsiyi hambuziyi u Kharkivs'kiy oblasti. Medychna parazytolohiya ta parazytarni khvoroby. T. 13 №1. S. 91–92*
8. Kolesnyk O.M., Starko N.V., Fomenko O.V. (2007) *Fauna kruhlorotykh ta ryb dilyanky richky Sivers'kyy Donets' u mezhakh Zmiyivs'koho rayonu Kharkivs'koyi oblasti. Visnyk KHNU, seriya Biolohiya, vyp. 5 (768). Kharkiv. S. 94–99*
9. Goncharov G.L., Novitsky R.O. (2017) *Adventitious fish species in the Siverskyi Donets River basin. Fauna of Ukraine on the verge of the 20th-21st centuries. New concepts of zoological research: All-Ukrainian Zoological Conference. Kharkiv. Pp. 101–102*
10. Shekk P.V., Burhaz M.I. (2022) *Introdutsenty prymorskykh lymaniv pivnichno-zakhidnoho Prychornomoria. Vodni bioresursy ta akvakultura. № 1(11). Kherson: Vydavnychiy dim «Helvetyka». № 2. S. 32–41*
11. Tymoshenko N.V. (2022) *Invazyvni vydy ryb u richkakh baseinu Zakhidnoho Buhu v mezhakh Ukrainy. Rybohospodarska nauka Ukrainy. T. 59, № 1. Kyiv. S. 25–44. DOI: <https://doi.org/10.15407/fsu2022.01.025>*

Відомості про авторів / About the Authors

Васенко Олександр Георгійович – кандидат біологічних наук, доцент. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-85, e-mail: alexandr.vasenko@gmail.com., Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Vasenko Oleksandr Heorhiyovych – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: 057-702-15-85, e-mail: alexandr.vasenko@gmail.com., Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Старко Микола Вікторович – старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: +38(097)883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Starko Mykola Viktorovich – senior. scientific staff. Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», USRIEP. Kharkiv; Phone: +38(097)883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Черба Ольга Володимирівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, Харків; тел.: (057) 702-15-85, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8600-1319>

Cherba Olga Volodymyrivna – Researcher. Associate Professor. Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», USRIEP, Kharkiv; phone: (057) 702-15-85, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8600-1319>

Гончаров Геннадій Леонідович – кандидат біологічних наук, зав. лаб. екології водних організмів. Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків; e-mail: honcharov@karazin.ua., Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5174-7054>

Honcharov Gennady Leonidovich – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Ecology of Aquatic Organisms. V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv; e-mail: honcharov@karazin.ua., Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5174-7054>

О. О. ДМИТРИЄВА, Н. С. ЦАПКО, І. В. КОЛДОБА

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЕКОЛОГО-СОЦІАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Запобігання та зниження рівня антропогенного навантаження на довкілля є стратегічним завданням на шляху до сталого розвитку України та забезпечення екологічної безпеки і здоров'я населення. У статті обґрунтовано доцільність використання у програмі досліджень впливу на довкілля промислових об'єктів підвищеної екологічної небезпеки інтегральних та комплексних показників з урахуванням вимог законодавства ЄС в області охорони довкілля.

Використання результатів таких досліджень дозволить приймати своєчасні управлінські рішення і більш раціонально розподіляти та заощаджувати кошти на екологічне оздоровлення довкілля в напрямку досягнення суттєвого зниження антропогенного навантаження для покращення екологічного стану навколишнього природного середовища та ресурсного потенціалу країни. Це, у свою чергу, забезпечить поліпшення умов мешкання населення та стану його здоров'я.

Ключові слова: навколишнє природне середовище (НПС), екологічна небезпека, екологобезпечне природокористування, підприємства підвищеної екологічної небезпеки, моніторинг довкілля, оцінювання стану складових нпс, інтегральні та комплексні показники.

Prevention and reduction of anthropogenic load on the environment is a strategic task on the way to sustainable development of Ukraine and ensuring environmental safety and health of the population. The article substantiates the feasibility of using integrated and complex indicators in the research program on the environmental impact of industrial facilities of increased environmental hazard, taking into account the requirements of EU legislation in the field of environmental protection.

The use of the results of such research will allow for a more rational distribution and saving of funds for environmental improvement and for making timely management decisions towards achieving a significant reduction in anthropogenic load to improve the ecological state of the natural environment and the resource potential of the country. This,

in turn, will ensure the improvement of the living conditions of the population and their health.

Keywords: natural environment (nae), environmental hazard, environmentally safe nature use, enterprises of increased environmental hazard, environmental monitoring, assessment of the state of component nae, integrated and comprehensive indicators.

Постановка проблеми та актуальність

Розвиток господарської діяльності на даний час перетворив природне середовище в єдиний інтегральний ресурс і досяг рівня, коли соціально-економічний розвиток будь-якої країни необхідно розглядати в безпосередньому взаємозв'язку з якістю навколишнього природного середовища.

В Україні державне регулювання у сфері охорони природи і раціонального використання природних ресурсів сьогодні полягає у контролі за стандартами і нормативами регулювання діяльності підприємств та за доцільністю споживання природних ресурсів. В основі принципу управління якістю навколишнього середовища в даний час покладено вимогу забезпечення гігієнічних нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин у природних компонентах (атмосферне повітря, вода, ґрунти). Відповідно до природоохоронної методології оцінка ступеня забруднення середовища проводиться шляхом порівняння концентрації забруднюючої домішки з її ГДК.

Результати численних наукових досліджень вказують, що гігієнічні регламенти не можуть бути єдиним критерієм для оцінки якості складових довкілля. Тому необхідність забезпечення системи управління еколого-орієнтованим розвитком територій відповідними комплексними показниками стану навколишнього природного середовища, адекватними сучасним формами господарювання є актуальною задачею.

Одним з основних напрямків розвитку в системі еколого-аналітичних спостережень є екодiагностика стану природно-антропогенних екосистем [1]–[5].

Задачею запропонованих оцінювань є надання якісної та кількісної характеристики з точки зору обраних критеріїв та можливості порівняння і ранжування об'єктів оцінювання. Це потребує розроблення окремих систем оцінювання, які б враховували специфіку найбільш небезпечних чи масових видів впливів, в тому числі на умови мешкання населення в районах розташування промислових об'єктів підвищеної екологічної небезпеки. Оцінювання стану навколишнього природного середовища є необхідним для застосування сучасних

процедур управління природокористуванням та охороною складових довкілля в рамках економічного розвитку, від його адекватності залежить ефективність природоохоронної діяльності [1], [3]– [6].

Оцінювання стану довкілля ставить відповідні вимоги, перш за все до показників, об'єктивне визначення яких має забезпечувати визначення тенденцій змін якісного стану довкілля, вияву його причин та наслідків. Для оцінки параметрів, елементів і компонентів середовища в умовах антропогенного впливу використовуються різні кількісні та якісні величини, які їх характеризують. При використанні цих величин слід обирати найбільш інформативні та враховувати складність, точність та вартість методу їх визначення, а також можливість їх зіставлення з іншими аналогічними характеристиками [2]–[7].

Характеристика стану навколишнього природного середовища та його окремих складових за допомогою традиційних хімічних методів досліджень у теперішній час все більше ускладнюється. Кількість забруднюючих речовин, які можуть бути присутніми, на декілька порядків перевищує можливості еколого-аналітичного контролю за допомогою чисто хімічних методів. Також використання традиційних хімічних методів дослідження не дає можливості оцінювання інтегрального впливу забруднювачів на стан довкілля та здоров'я населення та, отже, не представляється можливим враховувати сумарний вплив токсичних компонентів, який, зазвичай, значно перевищує суму впливу саме цих компонентів, узятих окремо [1], [3]–[7].

В рамках сучасного екосистемного підходу до формування задач спостережень за станом навколишнього природного середовища доцільно ширше застосовувати методи й показники, пов'язані з комплексними (навіть до інтегральних) оцінками. Найбільш перспективним напрямком є впровадження біологічних та біохімічних методів досліджень. Ці методи дозволяють на науковій основі спрогнозувати очікувані зміни в екосистемах і соціумі та своєчасно прийняти управлінські рішення щодо покращення якості довкілля, здоров'я і генофонду нації. За їх допомогою можливо встановити не тільки наслідки техногенезу, але й визначити ефективність заходів з екологізації технологій, які впроваджуються в промисловість [1], [4]–[5].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є обґрунтування доцільності вдосконалення, шляхом використання інтегральних комплексних

показників в складі еколого-соціального оцінювання впливу на стан довкілля промислових об'єктів.

Ці пропозиції спрямовані на подальше удосконалення і розвиток системи досліджень в напрямку її наближення до вимог природоохоронного законодавства ЄС. Вони сформовані на теоретичних основах безпеки довкілля та методичних основах, що визначають засіб розуміння та напрямки вирішення проблеми оцінювання еколого-соціальної безпеки природокористування у густонаселених промислово розвинених регіонах країни [1], [5].

Результати досліджень

Нижче викладено результати апробації декількох інтегральних та комплексних показників, яка проводилася при виконанні багаторічних досліджень з еколого-соціального оцінювання стану довкілля в районі розташування діючих гірничозбагачувальних підприємств Кременчуцького залізничного басейну і впливу їх господарської діяльності на навколишнє середовище.

Об'єктивну картину впливу антропогенних факторів забруднюючого характеру, як на навколишнє природне середовище в цілому, так і на його складові - дозволяє отримати використання в якості біоіндикаторів живих організмів.

Певні переваги у даному плані має використання рослинності. Рослини є первісними ланками трофічних ланцюгів у екосистемах і відіграють головну роль у поглинанні різного роду забруднювачів; вони мають високий ступінь чутливості до факторів впливу. Крім того вибір рослин в якості біоіндикаторів надає можливість безпосереднього дослідження, робить спостереження доступними [1], [4]–[8].

Спосіб інтегрального оцінювання забрудненості навколишнього природного середовища з використанням дендроекологічного способу індикації техногенних забруднень

Рослинність чутливо реагує на забруднення навколишнього середовища, як морфологічно, так і зміною своїх фізичних та хімічних показників. Зокрема, дерева є чутливими біологічними індикаторами та реєстраторами забруднення атмосфери, ґрунтів і ґрунтових вод. Останнім часом в цілях екодіагностики стану навколишнього природного середовища поширюється використання методів дендроекології, яка займається аналізом впливу зовнішньосередових факторів на зріст дерев у просторовому та часовому масштабі [9].

Для інтегрального оцінювання забрудненості навколишнього природного середовища в регіонах розташування гірничозбагачувальних комбінатів пропонується використовувати дендроекологічний спосіб індикації техногенних забруднень [9]. Він ґрунтується на тому, що основним люмінофором деревини є целюлоза, інтенсивність люмінесценції якої залежить від наявності екстрактивних речовин (смола, пектинів, дубильних речовин та ін.). В лубі дерев на забруднених територіях зменшується концентрація екстрактивних речовин і в цьому випадку більш чиста целюлоза має більшу яскравість фотолюмінесценції, яка збуджується УФ випромінюванням довжиною 370 нм та реєструється в області 460 нм (діапазон люмінесценції целюлози).

Спосіб виконують таким чином: на дослідній і фоновій ділянках відбирають зразки кори з лубом з деяких дерев одного деревостою. Далі, в камеральних або польових умовах, зразки піддають ультрафіолетовому опроміненню, яке викликає люмінесценцію зразків і реєструють інтенсивність люмінесценції.

Показник забруднення визначається відношенням люмінесценції лубу з дослідної ділянки до фоновій:

$$K = A_i / A_0, \quad (1)$$

де: A_i – інтенсивність люмінесценції в мв дослідної ділянки; A_0 – інтенсивність люмінесценції в мв фоновій ділянки.

Пропонований метод на практиці використовувався для визначення основних джерел забруднення території, їх розташування та інтенсивності, при проведенні досліджень з еколого-соціального оцінювання впливу господарської діяльності ПрАТ «Полтавський ГЗК» на стан довкілля протягом ряду років [10].

Досліджувана територія, розташована на південному сході Кременчуцького району Полтавської області, в районі м. Горішні Плавні і займає площу близько 500 км², простираючись у північному напрямку від Дніпродзержинського водосховища на 32 км та 17 км від шосейної дороги Дмитровка - Диканька на схід. Найбільш крупними об'єктами, що спричиняють вплив на стан навколишнього природного середовища в досліджуваному регіоні, є Полтавський гірничозбагачувальний комбінат, ставок-випарник нафтопереробного заводу «УкрТатнафта» та мережа автошляхів і залізниці.

На території проводився відбір зразків кори дерев різних видів тополі (*Populus alba*, *P. tremula* L., *Populus nigra*), як самих розповсюджених серед деревних порід у досліджуваному регіоні по 10 проб у деревостой з різних дерев. В якості фонового

району було обрано деревостій на березі верхів'їв Печенізького водосховища (Вовчанський район Харківської області).

За допомогою ГІС-технологій зроблено обробку одержаних результатів і отримано безперервний розподіл ступеня забруднення довкілля методом дендроіндикації. На рис. 1-2 показано результати досліджень за 2008-2015 рр. Значення ступеню забруднення у балах наведено поблизу точок відбору проб.

Аналіз результатів, наведених на рис. 1, показує, що основним джерелом забруднення досліджуваного регіону є ставок-випарник заводу «Укртатнафта» (червоний колір у північній частині рисунку). У південній частині території, прилеглій до ПГЗК, рівень забруднення досягає 6-10 балів, на території проммайданчика комбінату він становить близько 20 балів. У м. Горішні Плавні забрудненість середовища досягає 4-6 балів, в основному - це вплив автотранспорту.

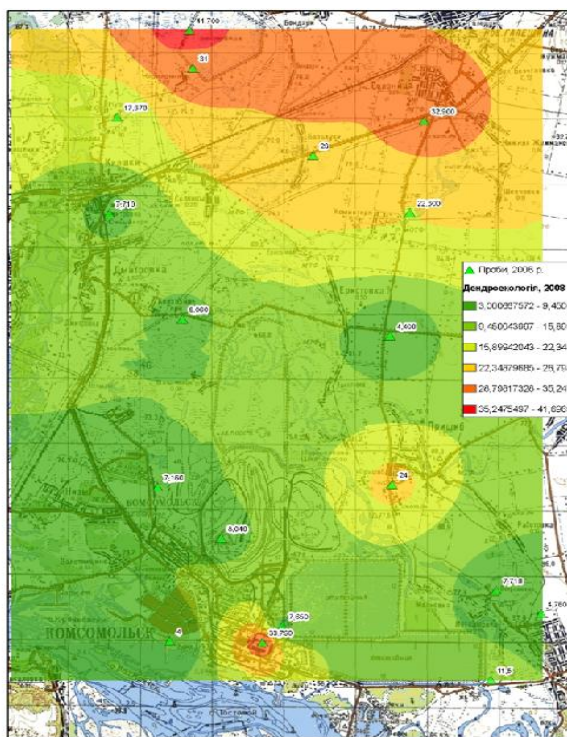


Рисунок 1 – Розташуванні пунктів відбору проб деревної кори на місцевості та ступінь забруднення району Полтавського ГЗК за результатами люмінесцентно-фотометричного аналізу лубу деревини

Зіставлення результатів досліджень у подальшому дозволили внести уточнення і доповнення до карти техногенного забруднення регіону, а також визначити динаміку впливу на навколишнє природне середовище.

Проведений люмінесцентно-фотометричний аналіз підтвердив результати попередніх досліджень. Головним джерелом забруднення у досліджуваному регіоні, як і у минулому, залишився ставок-випарник Кременчуцького нафтопереробного

заводу. Ступінь забруднення наземних екосистем поблизу нього знаходиться, як і в минулі роки, в межах 48 балів. Але у порівнянні з результатами вимірювань минулих років, зона забруднення дещо зменшилася, в основному у північній частині. Зараз дещо більш чистими стали території поблизу сіл Запсілля, Степівка, Заруддя, Василівка. Можливою причиною цього може бути припинення скидів стічних вод КНПЗ, внаслідок чого ставок-випарник поступово висихає. У зв'язку з цим почався процес самоочищення території, яка знаходиться в 8-12 кілометрах на північ та північний схід від ставка-випарника (рис. 2).

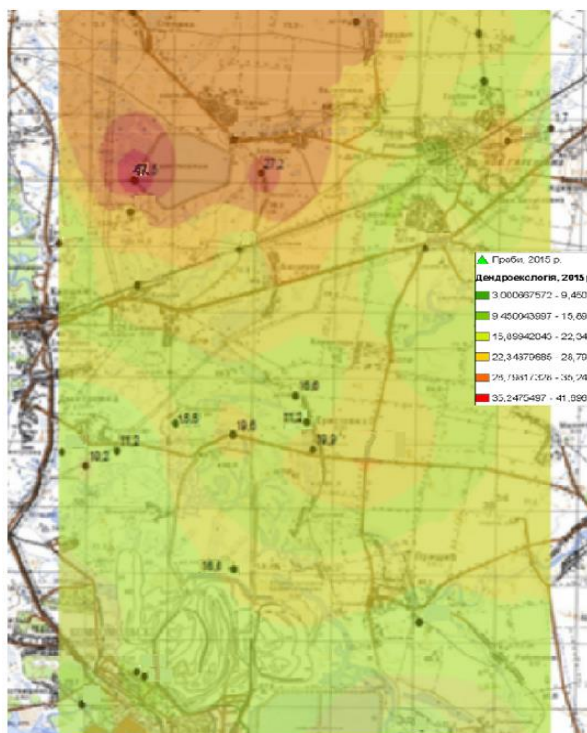


Рисунок 2 – Розташування пунктів відбору проб деревної кори на місцевості та ступінь забруднення району Полтавського та Єристівського ГЗК за результатами люмінесцентно-фотометричного аналізу лубу деревини

Забрудненість території поблизу ставка-випарника (сіл Бондарі, Остапці, Базалуки та ін.) залишається в межах значень попередніх років. Це пояснюється тим, що вплив ставка-випарника на цій ділянці більш довготривалий та інтенсивний. У акваторії ставка-випарника знаходяться багаторічні відклади сірчистих бітумів. Крім цього умови самоочищення на порівнюваних ділянках відрізняються – самоочисна здатність схильних до накопичення речовини заплавних ділянок менша у порівнянні з ландшафтами перехідного типу місцевості, які, до того ж, знаходяться на більшій відстані від джерела впливу і, отже, відчувають значно менше техногенне навантаження від нього.

Площа й інтенсивність техногенного впливу на територію ТОВ «Єристівський ГЗК», де з другої половини 2008 р. проводяться роботи з розкриття кар'єру, відносно невеликі. Головний район виробничої діяльності знаходиться у західній частині, ближче до села Єристівка. Величини техногенного впливу становлять від 12-16 балів поблизу кар'єру до 20 балів у районі проммайданчика, місця стоянки автотранспорту і екскаваторів. Перевищення над фоном у 12-14 разів відповідає рівню забруднення селища з півним опаленням домів.

Порівняння одержаних результатів із даними досліджень території Кременчуцької магнітної аномалії, які проводилися до початку розкриття кар'єру (18 – 26 балів), дозволяє заключити, що техногенне навантаження території поблизу Єристівського ГЗК майже не змінилося.

На території м. Горішні Плавні забрудненість довкілля складає від 1 балу, що являється фоновим, калібрувальним рівнем, до 4 балів, що являється показником чистого (курортного) міста. Район західного відвалу та зони впливу кар'єрів ПрАТ «Полтавський ГЗК» характеризується забрудненістю в 10-12 балів.

Аналіз результатів проведених дендроекологічних досліджень дозволяє заключити про доцільність їх використання з метою інтегральної оцінки екологічного стану навколишнього природного середовища в районах розташування промислових об'єктів.

Запропонований до використання спосіб індикації техногенних забруднень методом люмінесцентно-фотометричного аналізу лубу дерев дозволяє виявити основні джерела забруднення, скласти карти забрудненості досліджуваних регіонів і визначити найбільш чисті території. За умови багаторічних досліджень він дозволяє внести уточнення і доповнення до карт техногенного забруднення досліджуваних регіонів, а також визначати динаміку впливу на навколишнє природне середовище.

Запропонований спосіб є дешевим, його застосування дає можливість визначати ступінь забрудненості на значних територіях.

Спосіб інтегрального оцінювання забрудненості навколишнього природного середовища з використанням цитогенетичних методів

Оперативно оцінити сумарну дію всієї сукупності забруднювачів біосфери, які впливають на стан довкілля і здоров'я людини, дозволяє методика обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням інтегральних цитогенетичних методів оцінки, яка

запропонована у [11]–[12]. Вона передбачає використання біоіндикаторів – окремих організмів чи їх сукупності, присутність, кількість, особливості розвитку та фізіології яких вказують на природні та антропогенні процеси й умови зміни середовища їх проживання.

Біологічні індикатори підсумовують усі біологічні дані про навколишнє середовище і відображають його стан в цілому. Крім того живі організми постійно знаходяться в довкіллі і реагують на короточасні та залпові викиди токсикантів, які не може зареєструвати автоматизована система контролю з періодичним відбором проб на аналіз.

Біоіндикатори відображають швидкість процесів, що відбуваються в навколишньому середовищі, вказують на шляхи та місця накопичення забруднень в екосистемах, дозволяють оцінити шкідливість тих чи інших речовин для природи та людини. Завдяки цьому вони дають можливість контролювати дію багатьох синтезованих хімічних сполук та нормувати допустиме навантаження на екосистеми. Крім того, вони дають змогу оцінювати кумулятивні та віддалені ефекти дії токсикантів. Біоіндикаційні методи досліджень не заміняють хімічні та фізичні методи вимірювання параметрів, а інтегрально доповнюють їх і дозволяють одержати цілісну характеристику екологічного стану досліджуваної території.

Пропонований метод затверджено наказом МОЗ України № 116 від 13.03.2007 у вигляді методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів» [11].

На практиці він використовувався для визначення основних джерел забруднення території, їх розташування та інтенсивності, при проведенні досліджень з еколого-соціального оцінювання впливу господарської діяльності ПрАТ «Полтавський ГЗК» та ТОВ «Єристівський ГЗК на стан довкілля протягом ряду років, а також для загальної характеристики основних соціально-побутових умов проживання місцевого населення в зоні розташування Біланівського родовища залізистих кварцитів.

Нижче наведено окремі результати проведених досліджень, зокрема:

– оцінка екологічного стану навколишнього природного середовища досліджуваної території за токсико-мутагенним фоном з виявленням основних джерел забруднення довкілля;

- оцінка токсико-мутагенного фону в районі розташування Біланівського залізорудного родовища за результатами мікроядерного тесту клітин буккального епітелію дітей;

Аналіз цитогенетичних показників токсико-мутагенного фону території між ставком-випарником АТ «Укртатнафта» та ПрАТ «Полтавський ГЗК» за «Ростовим тестом» і тестом «Стерильність (фертильність) клітин пилку рослин-індикаторів» виявив наступне:

- на досліджуваній території за ростовим тестом найбільш потужним джерелом забруднення ґрунтового покриву є ставок-випарник нафтопереробного заводу, середнє значення та достовірність параметрів ростового процесу на цій ділянці становить в середньому 5,89. Ступінь забрудненості ґрунтів в районі кар'єру та відвалів Полтавського ГЗК є значно меншою – на відстані 550 м від кар'єру вона становить в середньому 3,22, поступово зменшуючись до 2,38 на відстані 1000 м та 1,09 на відстані 1500 м (межа СЗЗ);

- районам розташування автошляхів та залізничних колій на дослідженій території відповідають величини середнього значення та достовірності параметрів ростового процесу 3,01 – 3,3;

- в районі розташування Єристівського кар'єру ґрунти умовно чисті, середнє значення та достовірність параметрів ростового процесу коливається в межах 0,47 – 1,85; вплив виробничої діяльності на них та негативні зміни у токсико-мутагенному фоні відсутні;

- рівень екобезпеки на досліджуваній території змінюється від помірно небезпечного – небезпечного до сприятливого.

- за результатами аналізу умовних показників ушкодження (і-УПУ) стан біосистем та категорія екологічної безпеки токсико-мутагенного фону досліджуваної території змінюється від сприятливого до конфліктного, а рівень екобезпеки від сприятливого до помірно небезпечного.

Результати проведених досліджень, які оброблені за допомогою ГІС-технологій, відображені на карті-схемі досліджуваної території. (рис. 3).

На основі цитогенетичних досліджень за мікроядерним тестом у 2012 р. дитячого населення, яке проживає в сільських населених пунктах Кременчуцького району (с. Бондарі, с. Остапці, с. Василенки, с. Ревівка, с.м.т. Нова Галещина) - можна зробити висновок, що в екологічних системах наявні ушкодження генетичного матеріалу, а рівень ушкодженості коливається від високого УПП – 0,72 (с. Остапці), вище середнього УПП – 0,59 (с. Бондарі) і УПП – 0,49 (с. Василенки) до середнього

УПП – 0,44 (с. Ревівка) і нижче середнього УПП – 0,29 (с.м.т. Нова Галещина). Відповідно стан біосистеми змінюється від критичного (с. Остапці), загрозливого (с. Бондарі і с. Василенки), конфліктного (с. Ревівка) і до насторожуючого (с.м.т. Нова Галещина).



Рисунок 3 – Карта-схема досліджуваної території 2008-2010 рр.

Результати проведених досліджень, які оброблені за допомогою ПС-технологій, відображені на карті-схемі (рис. 4).

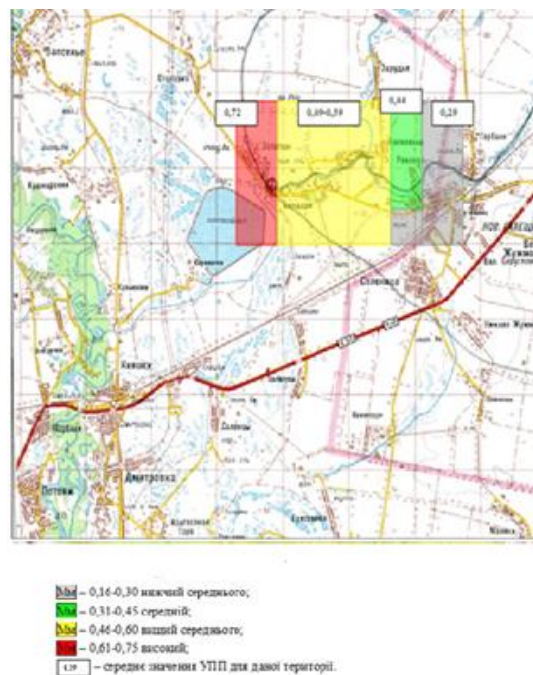


Рисунок 4 – Карта-схема цитогенетичних досліджень рівня ушкодженості (УПП) клітин дітей. Рівень пошкодження генетичного матеріалу (УПП)

Отримані дані свідчать про зменшення як техногенного навантаження на довкілля, так і мутагенної активності досліджуваного регіону по мірі віддалення від ставка-випарника АТ «Укртатнафта».

Аналіз результатів виконаних цитогенетичних досліджень дозволяє заключити, що екологічна ситуація території за мутагенними фоном змінюється від катастрофічної (с. Остапці), незадовільної (с. Бондарі, с. Василенки, с. Ревівка) до задовільної (с.м.т. Нова Галещина). Цим показникам відповідають наступні градації рівня генетичних пошкоджень високий – вищий середнього – нижчий за середній.

Виконаний аналіз обумовлює необхідність подальшого проведення цитогенетичного моніторингу в населених пунктах, що знаходяться в зоні впливу Біланівського ГЗК, для ранньої діагностики стану організму дітей за генетичним статусом і виділення груп підвищеного ризику, які вимагають підсиленої медичної уваги, а також для оцінки екологічної ситуації за мутагенним фоном з метою своєчасної реабілітації стану оточуючого середовища і здоров'я населення.

Аналіз результатів виконаних цитогенетичних досліджень дозволяє заключити наступне:

Використання цитогенетичних досліджень вважається одним з найчутливіших методів ефективної та адекватної оцінки дії несприятливих екологічних факторів на довкілля. різних цитогенетичних методів у моніторингових спостереженнях

Впровадження цієї методики до програми комплексного еколого-соціального (медичного) моніторингу промислових об'єктів підвищеної екологічної небезпеки надає можливість сформувати банк даних, необхідних для розробки екологічних карт за показниками, що характеризують загальну токсичність та мутагенність об'єктів навколишнього середовища.

Показники, що характеризують стан навколишнього середовища за токсико-мутагенним фоном можуть бути застосовані для подальшого визначення загального екологічного та генетичного ризиків для людини та біоти. Такі підходи в змозі охарактеризувати ефективність будь-якого напрямку розвитку території, встановити еколого-оптимальні нормативи якості довкілля та здоров'я населення, розробити шляхи досягнення цих нормативів, визначити пріоритети при прийнятті управлінських рішень.

Аналіз результатів моніторингу стану довкілля надає можливість на науковій основі здійснювати екологічне та соціальне управління і сприяти

поступовому переходу до сталого розвитку окремих територій і держави в цілому.

Спосіб комплексної оцінки з використанням ГІС-технологій забруднення атмосферного повітря та ґрунтів викидами ГЗК

Для гірничодобувних і збагачувальних підприємств вкрай важливим є рівень забруднення повітря – найбільш динамічного компонента довкілля, що в залежності від метеорологічних умов спричинює розсіювання продуктів техногенезу, сухе або мокре осадження їх на листяну поверхню рослин і поверхню ґрунтів. Далі відбувається або закріплення забруднюючих речовин у ландшафтно-геохімічних структурах, або залучення їх до міграційних потоків.

Важливою характеристикою ґрунтів, що ускладнює прогнозу оцінку їх забруднення, є висока різноманітність цього компоненту довкілля. Ускладнює вирішення цього завдання і відсутність методики оцінки впливу промислових підприємств на ґрунтовий покрив. Для розв'язання цієї задачі доцільно використовувати спосіб комплексного оцінювання забруднення атмосферного повітря та ґрунтів викидами промислових підприємств [13], що базується на методиці розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, які знаходяться у викидах підприємств. Згідно з розробленим підходом, оцінка виконується виходячи з найгірших умов для збереження якісного стану ґрунтів.

Як відомо, в залежності від потужності джерел забруднення, виду забруднення, кліматичних умов, особливостей рози вітрів, рельєфу місцевості, типу ґрунтів та рослинного покриву мають місце різні закономірності зниження рівня забруднення ґрунтів у залежності від відстані до підприємства. При ,найнесприятливіших умовах відбувається лише накопичення твердих частинок, важких металів у ґрунтах без їх зниження за рахунок різних факторів.

В основу запропонованого методу поставлено задачу комплексної оцінки забруднення атмосферного повітря та ґрунтів викидами промислових підприємств, шляхом комплексного визначення параметрів з допомогою додаткових заходів виявити зони екологічної небезпеки, а також визначити необхідні природоохоронні заходи.

Поставлена задача вирішується тим, що за даними інвентаризації промислових підприємств визначають концентрацію розсіювання забруднюючих речовин у повітрі, формують відповідну базу даних на підставі якої створюють електронні карти розповсюдження забруднюючих речовин у повітрі та твердих частинок в ґрунті, шляхом геоінформаційних технологій проводять аналіз

просторової інформації, на підставі якого здійснюють висновок рівня забруднення в будь-якій точці площини в зоні впливу підприємств.

Концентрацію забруднюючих речовин в ґрунті обчислюють за формулою:

$$C_{гр} = C_{пов} * V_d * t / (\rho * h), \quad (2)$$

де ρ – щільність ґрунту; h – глибина проникнення твердих забруднюючих речовин з атмосферного повітря у ґрунт; t – час, протягом якого оцінюють накопичення забруднюючих речовин у ґрунті; V_d – швидкість осадження; $C_{пов}$ – концентрація забруднюючої речовини у повітрі.

Уточнюють концентрацію забруднюючих речовин в ґрунті з урахуванням середньорічної рози вітрів району розташування підприємства за формулою:

$$C_{гр,i} = C_{гр} * P_i / P_o, \quad (3)$$

де $C_{гр,i}$ – концентрація забруднюючої речовини у поверхневому шарі ґрунту в секторі i в залежності від напрямку вітру (мг/кг); P_i – середньорічна повторюваність напрямку вітру румба i , %; P_o – повторюваність напрямку вітру одного румбу при круговій розі вітрів. Для восьми румбовій розі вітрів $P_o = 100/8 = 12,5\%$.

Застосування запропонованого способу дозволяє побудувати електронні карти розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та ґрунті, які дозволяють використовувати потужний апарат просторового аналізу ГІС-технологій для визначення рівня забруднення.

Спосіб виконують таким чином:

На першому етапі проводять інвентаризацію джерел викидів промислових підприємств, за даними якої визначають концентрацію розсіювання забруднюючих речовин у повітрі, з допомогою програми ЕОЛ формують відповідну базу даних щодо результатів розрахунку в кожній точці області.

На другому етапі переводять сформовану базу даних як вхідну базу для додаткової програми ArcGis, на підставі якої створюють електронні карти розповсюдження забруднюючих речовин у повітрі та твердих частинок у ґрунті на необхідній області. Шляхом геоінформаційних технологій проводять аналіз просторової інформації, на підставі якого здійснюють висновок рівня забруднення в будь-якій точці площини в зоні впливу підприємств. Далі обчислюють концентрації забруднюючих речовин у ґрунті за зазначеними вище формулами.

Аналогічно програмно розраховується рівень забруднення ґрунтів у всіх точках у зоні впливу підприємства. За допомогою ПС-технологій будується атлас забруднення ґрунтів в цій зоні, як сполуками марганцю, так і іншими металами.

Рівень забруднення ґрунтів порівнюють з відповідними ГДК і з фоновими значеннями.

Пропонований метод апробовано для визначення максимального рівня забруднення ґрунтового покриття в районі розташування ПрАТ «Полтавський ГЗК» в цілях оцінювання впливу його господарської діяльності.

Концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери розраховано програмою «ЕОЛ» спільно з програмою ArcView пакету ArcGis. Рівень накопичення забруднюючих речовин у ґрунті визначався у тих самих контрольних точках, що й рівень забруднення атмосферного повітря.

Як приклад – нижче, за допомогою ГІС-технологій, наведено карти прогнозованого рівня забруднення ґрунтів викидами Полтавського ГЗК протягом року за окремими показниками – Cr^{+6} , FeO , CaO , MgO та Mn і його сполуки (рис. 5).

Аналіз наведених матеріалів свідчить, що величини концентрацій контрольованих забруднюючих речовин, які надходять у ґрунтовий покрив з викидів підприємства протягом року в усіх контрольних точках суттєво нижчі за встановлені ГДК та фонові значення.

Виконані розрахунки відповідають найбільш несприятливій ситуації, яка не може спостерігатися постійно. Крім того, в розрахунках не враховано змив цих речовин з атмосферними опадами в системи водовідведення поверхневих стічних вод комбінату або міста Горішні Плавні а також вилучення цих речовин рослинністю, особливо сполук марганцю, кальцію. Отже, вміст пилу та важких металів у приземному шарі атмосфери і в шарі ґрунту буде значно меншими за розрахункові.

Аналіз результатів проведених досліджень наведеного методу дозволяє заключити про доцільність його використання з метою комплексної оцінки екологічного стану навколишнього природного середовища в районах розташування промислових об'єктів підвищеної екологічної небезпеки.

Результати, отримані при використанні наведеного методу комплексної оцінки екологічного стану навколишнього природного середовища, дозволять одержати своєчасну точну інформацію щодо екологічного стану довкілля та будуть сприяти вибору своєчасних обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на зменшення ризику негативних наслідків викидів промислових підприємств та покращення екологічного стану довкілля та умов мешкання населення та стану його здоров'я.

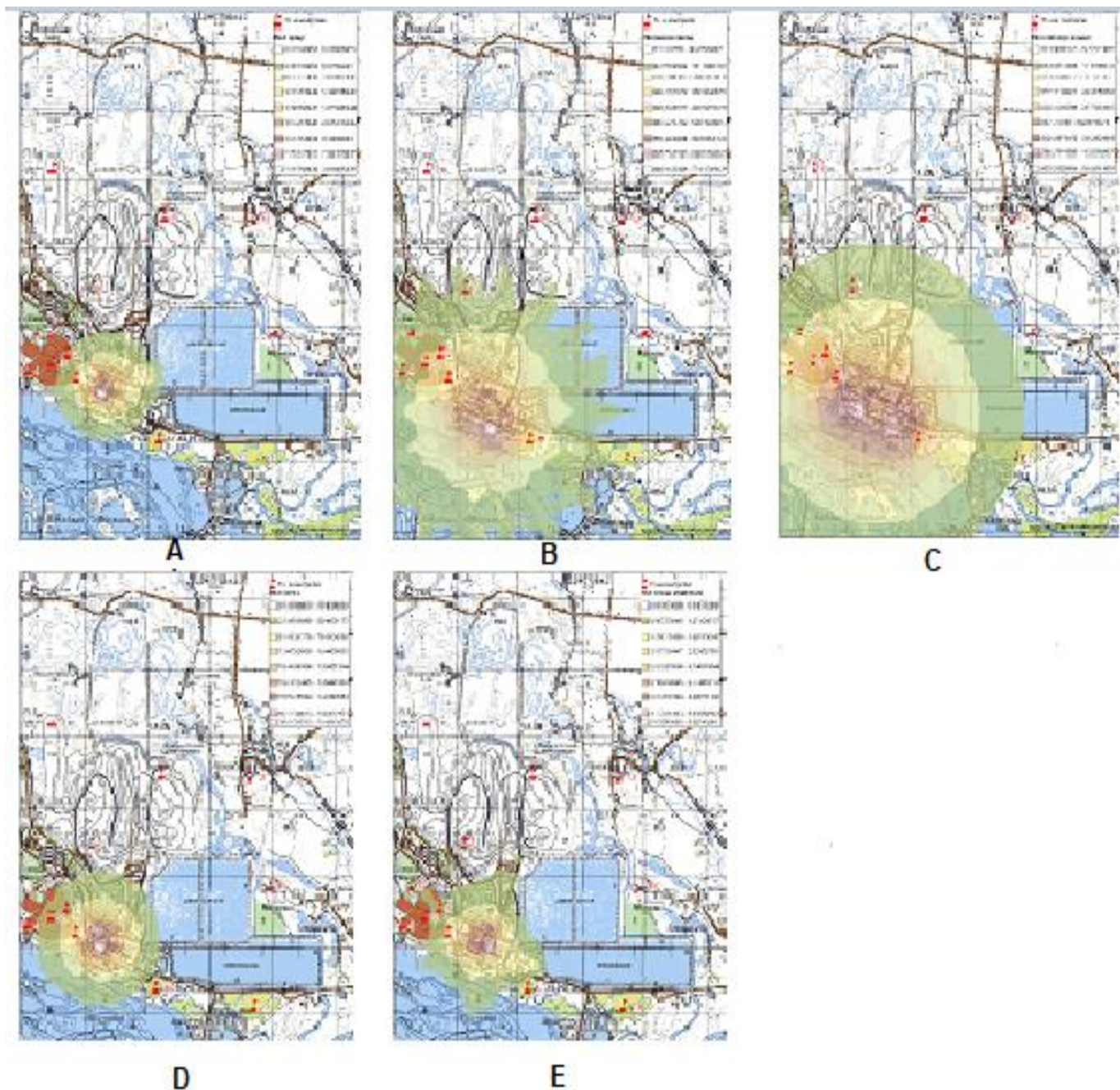


Рисунок 5 – Карти максимального рівня забруднення ґрунтів щорічними викидами від джерел Полтавського ГЗК, мг/кг.

A) Cr^{6+} ; **B)** Fe_2O_3 ; **C)** CaO ; **D)** MgO ; **E)** Mn та його сполуки

Висновки

В умовах впровадження Стратегії сталого розвитку України до 2030 року, яка передбачає «забезпечення стійкого зростання економіки екологічно невиснажливим способом», екобезпека експлуатації промислових об'єктів підвищеної екологічної небезпеки вимагає удосконалення існуючої системи еколого-соціального моніторингу в частині впливу їх господарської діяльності на довкілля.

В рамках сучасного екосистемного підходу до формування задач і розроблення програм спостережень за станом навколишнього природного середовища необхідно ширше застосовувати методи й показники, пов'язані з комплексними оцінками. Ці методи дозволяють на науковій основі спрогнозувати очікувані зміни в екосистемах і соціумі та своєчасно прийняти управлінські рішення щодо покращення якості довкілля, здоров'я і генофонду нації. За їх допомогою можливо встановити не тільки наслідки техногенезу, але й визначити ефективність заходів з екологізації технологій, які впроваджуються в господарську діяльність.

Міжнародний досвід показує, що інтеграція розрізнених просторових даних на державному рівні в єдину інфраструктуру за допомогою ГІС-технологій дозволяє здійснити кардинальний прорив у своєчасному забезпеченні органів влади, наукових досліджень, потреб промисловості та населення достовірною космічною інформацією про територію країни на базі Національної інфраструктури геопросторових даних. Національна інфраструктура геопросторових даних спрямована на удосконалення системи забезпечення потреб суспільства у всіх видах географічної інформації, підвищення ефективності використання геопросторових даних та геоінформаційних технологій в системах підтримки управлінських рішень органів державної влади, місцевого самоврядування, в економічній, соціальній, екологічній, оборонній, науковій сферах в інтересах держави, суб'єктів господарювання і громадян на основі створення і сталого розвитку національної інфраструктури геопросторових даних України, як складової єдиного інформаційного простору країни.

На сучасному етапі розвитку господарського комплексу країни витрати на впровадження у практику досліджень впливу на довкілля інтегральних та комплексних показників доцільно покласти на промислові об'єкти як соціально відповідальні підприємства безпосередньо зацікавлені в результатах моніторингу.

Література

1. Яйли Е.А. Метод оценки качества компонентов окружающей среды на основе индикаторов и индексов / Е.А. Яйли // Экологическая химия. – 2005. – 14(4). – С. 266–274.
2. Качинський А.Б., Наконечний О.Г. Стійкість екосистем та проблема нормування в екологічній безпеці України / А.Б. Качинський, О.Г. Наконечний // Серія "Екологічна безпека" – 1996. – Вип.1. – 42 с.
3. Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия, 1994. – 345 с.

4. Экологический мониторинг. Методы биомониторинга / Под ред. Гелашвили Д.Б. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ. – 1995. – Ч. 2. – 272 с.
5. Jóźwiak M. A. Bioindication as challenge in Modern Environmental Protection / M. A. Jóźwiak, M. Jóźwiak // The Journal of Society of Ecological Chemistry and Engineering. – 2015. – Vol. 21. – № 4. – P. 571–591.
6. Soil toxicity and bioassessment test methods for ecological risk assessment Toxicity. Test Methods for Soil Microorganisms, Terrestrial Plants, Terrestrial Invertebrates and Terrestrial Vertebrates. ОЕННА Ecotoxicology: Office of Environmental Health Hazard Assessment, 2009. – 153 p.
7. Bioindicator Systems for Soil Pollution / Ed. by van Straalen, M. Nico, D.A. Krivolutsky. – SPRINGER Science & Business Media, 1996. – 262 p.
8. Серия публикаций по водным проблемам. Охрана водных ресурсов и экосистем (ECE/TNVNA/31). Подготовлена Европейской экологической комиссией в Женеве под эгидой ООН. – Нью-Йорк. –1993. – 119 с.
9. Спосіб індикації техногенних забруднень, деклараційний патент № 70827 А за заявкою № 2003 1212999, подана 30.12.2003, опублікована 15.10.2004. Бюл. № 10. Дмитрієва О.О., Попов А.І.
10. Попов А.І. Дендроіндикація процесу розвитку природно-техногенного ландшафту Кременчугської магнітної аномалії / А.І. Попов // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – № 882, – С. 156–160.
11. Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів. Методичні рекомендації затв. наказом МОЗ України № 116 від 13.03.2007.
12. Технология повышения экологической безопасности при добыче железных руд подземным способом: Монография / А.И. Горовая, И.Г. Миронова, М.Н. Кононенко, А.В. Павличенко. – Днепропетровск: Литограф, 2014. – 136 с.
13. Спосіб комплексної оцінки забруднення атмосферного повітря та ґрунтів викидами промислових підприємств, патент на корисну модель № 38054 за заявкою № 2008 06646, подана 15.05.2008, опублікована 25.12.2008. Бюл. № 24. Дмитрієва О.О., Тертичний О.Л., Василенко В.П.

References

1. Yayli YE.A. Metod otsinky yakosti komponentiv navkolyshn'oho seredovyscha na osnovi indykatoriv ta indeksiv / O.O. Yayli// Ekolohichna khimiya. - 2005. - 14 (4). - S. 266-274.

2. Kachyns'kyi A.B., Nakonechnyy O.H. *Stykist' ekosystem ta problema normuvannya v ekolohichniy bezpetsi Ukrayiny* / O.B. Kachyns'kyi, O.H. Nakonechnyy // *Seriya "Ekolohichna bezpeka"* - 1996. - Vyp.1. - 42 s.
3. Reymers N.F. *Ekolohiya. Teoriyi, zakony, pravyla, pryntsypy ta hipotezy* / N.F. Reymers. - M.: Rosiya, 1994. - 345 s.
4. *Ekolohichnyy monitorynh. Metody biomonitorynhu*/Za red. Helashvili D.B. - N. Novhorod: Vyd-vo NNHU. - 1995. - CH. 2. - 272 s.
5. Jóźwiak M. A. *Bioindication yak Challenge v Modern Environmental Protection* / M. A. Jóźwiak, M. Jóźwiak // *The Journal of Society of Ecological Chemistry and Engineering*. - 2015. - Vol. 21. - № 4. - P. 571-591.
6. *Metody vyprobuvan' toksychnosti gruntu ta biootsinky dlya otsinky ekolohichnoho ryzyku. Toksychnist'. Metody vyprobuvan' dlya gruntovykh mikroorhanizmiv, nazemnykh roslyn, nazemnykh bezkhrebetnykh ta nazemnykh khrebetnykh. OEHA Ekotoksykologiya: Upravlinnya z otsinky nebezpeky dlya zdorov'ya navkolyshn'oho seredovyscha*, 2009. – 153 s.
7. *Systemy bioindykatoriv zabrudnennya gruntu* / Za redaktsiyeyu van Straalena, M. Niko, D.A. Kryvoluts'koho. – SPRINGER Science & Business Media, 1996. – 262 s.
8. *Seriya publikatsiy z vodnykh problem. Okhorona vodnykh resursiv ta ekosystem (ESE/TNVNA/31). Pidhotovlena Yevropeys'koyu ekolohichnoyu komisiyeu u Zhenevi pid ehidoyu OON*. - N'yu-York. -1993. - 119 s.
9. *Sposib indykatsiyi tekhnohennykh zabrudnen', deklaratsynny patent № 70827 A za zayavkoyu № 2003 1212999, podana 30.12.2003, opublikovana 15.10.2004. Byul. № 10. Dmytriyeva O.O., Popov O.I.*
10. *Popov A.I. Dendroindykatsiya protsesu rozvytku pryrodno-tekhnohennoho landshaftu Kremenchuts'koyi mahnitnoyi anomalii* / O.I. Popov // *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho univesytetu imeni V.M. Karazina*. - № 882, - S. 156-160.
11. *Obstezhennya ta rayonuvannya terytoriyi za stupenem vplyvu antropohennykh faktoriv na stan ob'yektiv dovkillia z vykorystanniam tsytohenetychnykh metodiv. Metodychni rekomendatsiyi zatv. nakazom MOZ Ukrayiny №116 vid 13.03.2007.*
12. *Tekhnologiya pidvyshchennya ekolohichnoyi bezpeky pry vydobutku zaliznyaku pidzemnym sposobom: Monohrafiya* / A.I. Horova, I.H. Myronova, M.M. Kononenko, O.V. Pavlichenko. - Dnipropetrovs'k: Litohraf, 2014. - 136 s.
13. *Sposib kompleksnoyi otsinky zabrudnennya atmosferneho povitrya ta gruntiv vykydamy promyslovykh pidpryyemstv, patent na korysnu model' № 38054 za zayavkoyu № 2008 06646, podano 15.05.2008, opublikovano 25.12.2008. Byul. № 24. Dmytriyeva O.O., Tertychnyy O.L., Vasylenko V.P.*

Відомості про авторів / About the Authors

Дмитрієва Олена Олексіївна – доктор економічних наук, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7494-0674>, e-mail: dmtrieva.olena@gmail.com.

Dmytriieva Olena Oleksiyivna – Doctor of Economics, Deputy Director for Scientific Work and Research Marketing, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, (USRIEP). Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7494-0674>, e-mail: dmtrieva.olena@gmail.com

Цапко Наталія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, перший заступник директора, «Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» УКРНДІЕП, м. Харків; тел. 057-702-16-01; Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2480-3636>, e-mail: tsapkonatali@gmail.com.

Tsapko Nataliia Serhiivna – Candidate of technical sciences, Associate professor, first deputy director, Scientific-Research Institution «Ukrainian Scientific-Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), phone: +38-057-702-16-01, Kharkiv; Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2480-3636>, e-mail: tsapkonatali@gmail.com.

Колдоба Ірина Вікторівна – завідувача сектором лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» УКРНДІЕП, м. Харків; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3471-124>, ; e-mail: ivkoldoba@ukr.net

Koldoba Irina Viktorivna – Head of the laboratory sector for environmentally safe nature use, means and methods of environmental monitoring Scientific-Research Institution «Ukrainian Scientific-Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3471-124>, e-mail: ivkoldoba@ukr.net

**О. О. ДМИТРІЄВА, Н. С. ЦАПКО, Л. В. МЕЛЬНІК, М. М. ВОРОБЬОВ,
З. І. ЛОЗНЮК**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ «ШКІДЛИВОГО ЦВІТІННЯ» ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ

Стаття являє собою результати досліджень з проблеми екологічно безпечного водокористування з евтрофованих водних об'єктів населених пунктів та господарських об'єктів окремих регіонів України. Зниження ступеня екобезпеки антропогенного евтрофування водних об'єктів є стратегічним завданням на шляху до сталого розвитку та забезпечення екологічної безпеки для здоров'я населення, покращення стану навколишнього природного середовища шляхом впровадження екологічно безпечного водовідведення.

Перманентне скидання у водні об'єкти неочищених та недостатньо очищених стічних вод призводить до значного антропогенного евтрофування водних об'єктів, перш за все – водосховищ. Евтрофування водойм призводить до зниження якості води, деградації біорізноманіття, погіршення технічних і рекреаційних властивостей водойм, а також може становити пряму загрозу здоров'ю населення через утворення токсинів ціанобактерій.

Для реалізації екологічно безпечних технологій водовідведення розроблені конструктивні та експлуатаційні зміни в існуючих способах водовідведення України.

Ключові слова: екологічно безпечне водокористування, водовідведення, технологічні заходи, процеси евтрофування.

The article presents the results of research on the problem of environmentally safe water use from eutrophicated water bodies of settlements and economic facilities of individual regions of Ukraine. Reducing the degree of environmental hazard of anthropogenic eutrophication of water bodies is a strategic task on the way to sustainable development and ensuring environmental safety for the health of the population, improving the state of the natural environment through the implementation of environmentally safe drainage.

Permanent discharge of untreated and insufficiently treated wastewater into water bodies leads to significant anthropogenic eutrophication of water bodies, primarily reservoirs. Eutrophication of water bodies leads to a decrease in water quality, degradation of biodiversity, deterioration of technical and recreational properties of water bodies, and can also pose a direct threat to public health due to the formation of cyanobacterial toxins.

To implement environmentally friendly drainage technologies, structural and operational changes have been developed in the existing drainage methods of Ukraine.

Keywords: environmentally friendly water use, drainage, technological measures, eutrophication processes.

Актуальність

В Україні пріоритетами Конституції є надання громадянам права «на безпечне для життя і здоров'я довкілля» та «забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України», які є обов'язком держави [1].

Перехід на засади сталого збалансованого розвитку неможливий без створення передумов для збалансування інтересів суспільства і можливостей природи, розвитку промисловості і екологічної безпеки; перехід до сталого еколого-соціально-економічного розвитку є не просто актуальними, а життєво необхідними. Стратегічною метою розвитку нашої держави є перетворення її природно-ресурсного потенціалу в підґрунтя економічного зростання, що відповідає розумінню сутності сталого розвитку з позиції світової спільноти [2-4].

Ступінь вирішення водогосподарських проблем належить до найсуттєвіших критеріїв оцінки розвитку країни та реалізації стратегії сталого розвитку.

Основні вимоги екологічно безпечного водокористування евтрофних водних об'єктів України

Основними вимогами екологічно безпечного водокористування евтрофних водних об'єктів України є:

- забезпечення екологічно стійкого функціонування евтрофованого водного об'єкту як елемента природного середовища зі збереженням властивостей водних екосистем до відновлення якості води шляхом упорядкування водоспоживання та водовідведення в окремих регіонах України;
- задоволення господарських потреб населених пунктів та господарських об'єктів без погіршення якості водних ресурсів та умов життєдіяльності населення.

Причиною значного дефіциту водних ресурсів України є не тільки їх кількісна обмеженість, але і якісне виснаження внаслідок складної водогосподарської

діяльності на більшості водних об'єктів країни. Перманентне скидання у водні об'єкти неочищених та недостатньо очищених стічних вод від населених пунктів призводить до значного антропогенного евтрофування водних об'єктів, перш за все – водосховищ.

Проблема «шкідливого цвітіння» водних об'єктів України, яке спричинене масовим розвитком ціанобактерій, є одним із найгостріших викликів сучасної водної екології. Евтрофування водойм призводить до зниження якості води, деградації біорізноманіття, погіршення технічних і рекреаційних властивостей водойм, а також може становити пряму загрозу здоров'ю населення через утворення токсинів.

З урахуванням цих вимог представлено основну мету функціонування системи екологічно безпечного водокористування евтрофованих водних об'єктів з впровадженням екологічно безпечного водовідведення як безперебійного відведення стічних вод усіх категорій з території населених пунктів окремих регіонів при забезпеченні безумовного збереження або поліпшення стану екосистем водних об'єктів - приймачів стічних вод.

Система показників водовідведення населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах

У загальному випадку під системою розуміють множину елементів з набором зв'язків між ними, а також із зовнішньою системою. Елементи системи мають свою структуру, сталі зв'язки, які забезпечують збереження основних властивостей [5].

Вивчення реальних систем, як сукупності елементів матеріально-речової форми, може відбуватися шляхом визначення показників системи та їх відносин. Показник – це характеристика властивостей або стану системи у процесі її функціонування. По відношенню до системи показники можуть бути внутрішніми та зовнішніми. У свою чергу, зовнішні показники поділяються на вхідні, які визначають мету та умови функціонування системи, та вихідні, що характеризують результати її функціонування [5].

По відношенню до водовідведення населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, як системи її внутрішні та зовнішні (вхідні і вихідні) показники наведено на рис. 1.

Розглянемо більш детально показники водовідведення населених пунктів (рис.1).

Вхідні показники водовідведення населених пунктів як системи.

Чисельність населення, ступінь його благоустрою. При відведенні побутових стічних вод на очисні споруди (ОС) їх обсяги залежать від чисельності

мешканців даного населеного пункту регіону, а також від рівня їх благоустрою, оскільки витрати водовідведення коливаються в межах від 50 л/добу при застосуванні вуличних водорозподільних колонок до 360 л/добу для житлових будинків висотою більше 12 поверхів з централізованим гарячим водоспоживанням та підвищеними вимогами до їх благоустрою [6].



Рисунок 1 – Вхідні, внутрішні та вихідні показники водовідведення населених пунктів регіонів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, як системи

Характер промислових підприємств, склад їх виробничих стічних вод.

Характер виробництва промислових підприємств, рівень застосування ними оборотних систем водопостачання, наявність або відсутність локальних очисних споруд визначають обсяги та склад виробничих стічних вод. Деякі промислові підприємства свої побутово-виробничі стічні води після очищення скидають самостійно у водні об'єкти, обминаючи систему водовідведення населеного пункту, інші у водний об'єкт скидають лише виробничі стічні води після очищення, а побутові – у систему водовідведення населеного пункту. Для переважної більшості промислових підприємств, особливо малих та середніх, склад виробничих стічних вод відповідає умовам приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи водовідведення [7], тому виробничі стічні води цих підприємств направляються в мережу відведення виробничо-побутових стічних вод населеного пункту.

Особливості рельєфу, геологічна та гідрогеологічна структура земної поверхні населеного пункту. Організація водовідведення суттєво залежить від особливостей рельєфу. Одна з основних функцій водовідведення - транспортування стічних вод до очисних споруд, які містять у собі розташування мереж напірних та безнапірних колекторів, каналізаційних насосних станцій, у значній мірі визначається рельєфом місцевості. Геологічна та гідрогеологічна структура земної поверхні населеного пункту регіонів визначає конструктивні особливості гідротехнічних споруд, необхідність їх екранування, побудови дренажу, а також розташування очисних споруд і окремих їх елементів (полів фільтрації, мулових майданчиків).

Кліматичні особливості регіону багато у чому визначають характеристики мереж відведення та очищення поверхневих стічних та дренажних вод. Так пропускна спроможність мережі відведення поверхневих стічних та дренажних вод визначається величиною атмосферних опадів, їх річним розподілом. Глибина залягання трубопроводів та колекторів визначається промерзанням ґрунтів у зимовий період.

Стан водного об'єкту – приймача стічних вод є одним з визначальних факторів при проектуванні очисних споруд населеного пункту, визначення їх складу та характеристик окремих споруд і устаткування. У свою чергу, за ступенем очищення виробничо-побутових стічних вод на очисних спорудах визначаються умови їх надходження у комунальні та відомчі системи водовідведення [6]. Гідрологічні та гідрохімічні характеристики водного об'єкту враховуються при визначенні умов скидання зворотних вод у водні об'єкти.

Наведені вхідні показники водовідведення населених пунктів регіонів, як системи, повинні бути враховані при її проектуванні та експлуатації.

Внутрішні показники водовідведення населених пунктів регіонів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, як системи.

Існуючий спосіб водовідведення. Особливості забудови та розташування житлових і промислових районів населених пунктів регіонів, послідовність їх розвитку, рельєф місцевості та ступінь евтрофування водного об'єкта визначають вибір способу водовідведення у населеному пункті, який визначає взаємні особливості відведення побутових, виробничих, поверхневих стічних та дренажних вод. З чотирьох способів водовідведення (роздільний, загальносплавний, напівроздільний та комбінований), найбільш розповсюдженим є роздільний.

Склад біологічних очисних споруд, їх технічний стан; ступінь завантаженості. Важливим внутрішнім показником водовідведення є вибрана схема очищення стічних вод, технічний стан окремих споруд. Для прогнозування можливості використання біологічних очисних споруд для очищення поверхневих стічних та дренажних вод важливим фактором є ступінь фактичного завантаження цих очисних споруд.

Технічний стан мережі водовідведення, ступінь її завантаження. Не менш важливим показником є технічний стан мереж водовідведення, які включають колектори та трубопроводи, насосні станції, запірну апаратуру, оглядові колодязі, а також ступінь їх завантаження. Цей показник визначає необхідність реконструкції мереж відведення виробничо-побутових та поверхневих стічних та дренажних вод, технологічну можливість, у разі необхідності (наприклад, на період реконструкції мереж відведення поверхневих стічних та дренажних вод), подачі на очищення поверхневих стічних та дренажних вод мережами відведення виробничо-побутових стічних вод,

Наявність очисних споруд для очищення поверхневих стічних та дренажних вод та їх технічний стан. В останні роки значна увага приділяється проблемі своєчасного відведення поверхневих стічних та дренажних вод з території населених пунктів. Тому розгалуженість мережі відведення поверхневих стічних та дренажних вод, спосіб їх очищення, технічний стан цих очисних споруд є одним з внутрішніх показників системи водовідведення.

Узагальненим показником ефективності роботи системи водовідведення є кількість очищених, недостатньо очищених та неочищених стічних вод, які

відводяться у водний об'єкт з території населених пунктів, а також процентне відношення недостатньо очищених та неочищених стічних вод до загального обсягу зворотних вод населених пунктів. В окремих регіонах України цей показник досягає 80 %, а в середньому по країні цей показник складає 28.3 % [8].

Вихідні показники водовідведення населених пунктів регіонів розташованих на евтрофованих водних об'єктах, як системи.

Основним вихідним результуючим показником водовідведення населених пунктів є склад зворотних виробничо-побутових та поверхневих стічних та дренажних вод при їх скиді у водні об'єкти. Цей показник не є сталим і змінюється від зміни вхідних та внутрішніх показників системи водовідведення.

Екологічним показником системи водовідведення є ступінь впливу зворотних вод населеного пункту на стан евтрофованих водних екосистем. На сьогодні безпосередня оцінка стану водних екосистем не одержала відповідного нормативного забезпечення, особливо це стосується евтрофованих водних об'єктів. Тому опосередковано вважається, що дотримання вимог чинного водного законодавства щодо відведення різних видів стічних вод у водні об'єкти [9], у тому числі і в аварійних ситуаціях, не призведе до інтенсифікації процесів евтрофування водних об'єктів.

Приведений набір вхідних, внутрішніх та вихідних показників за своєю сутністю являють собою еквівалент реальної системи, користуючись яким можна проводити її аналіз.

Значення вихідних показників залежить від вхідних (умов функціонування), та внутрішніх (рішення, що приймаються) показників. У свою чергу, досягнуті значення вихідних показників впливають на зміну вхідних та внутрішніх показників. В цьому полягає зворотний зв'язок між вихідними та вхідними і внутрішніми показниками. Для водовідведення населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, як системи, цей зворотний зв'язок полягає у впливі зворотних вод на ступінь евтрофування водних об'єктів, умови життєдіяльності мешканців регіону.

Конструктивні та експлуатаційні зміни в існуючих способах водовідведення

Для реалізації екологічно безпечних технологій водовідведення пропонується наступні конструктивні та експлуатаційні зміни в існуючі способи водовідведення [10,11, 12]:

- Додавання в існуючі схеми водовідведення модулю, що управляється.

- З метою очищення поверхневих стічних та дренажних вод від патогенної мікрофлори доцільно застосування споруд фіторемедиації.

- Проведення вертикального планування території, прилеглої до водного об'єкту, на території населеного пунктів окремих регіонів.

- Застосування для всіх способів водовідведення дощоприймачів з осадовою камерою.

Додавання у існуючі схеми водовідведення модулю, що управляється, призначено для вирішення наступних задач:

- Забезпечення використання існуючих біологічних очисних споруд (які розраховані на очищення виробничо-побутових стічних вод) для очищення поверхневих стічних та дренажних вод.

- Запобігання надходженню на біологічну ланку очисних споруд суміші побутово-виробничих стічних вод, забруднених понад вимоги біологічного способу очищення.

- Управління режимами роботи системи водовідведення при подачі стічних вод на очисні споруди у штатних та аварійних ситуаціях.

Принципова схема запропонованого модуля наведена на рис. 2.

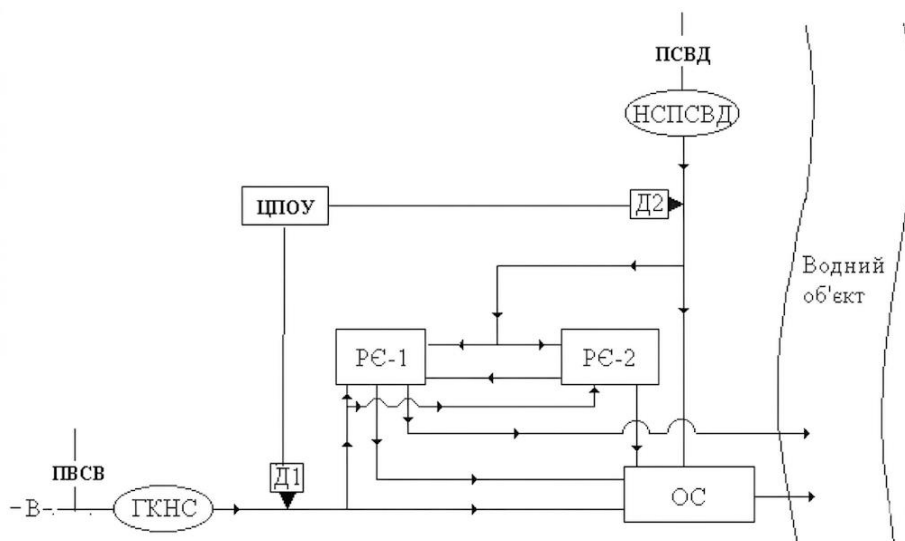


Рисунок 2 – Схема додаткового фрагменту до існуючих систем водовідведення, який перетворює їх у екологічно безпечні:

ГКНС - головна каналізаційна насосна станція;

НСПСВД - насосна станція поверхневих стічних та дренажних вод;

ОС - очисні споруди населеного пункту.

РЄ-1, РЄ-2 - регулюючі ємності;

Д1, Д2 - датчики автоматизованої системи контролю стічних вод;

ЦПОУ – центральний пункт оперативного управління;

ПВСВ – побутово-виробничі стічні води;

ПСВД – поверхневі стічні та дренажні води.

Для розв'язання першої задачі у складі нового елементу запропоновано регулюючі ємності РЄ-1 та РЄ-2, які використовуються для накопичення поверхневих стічних та дренажних вод з подальшою їх подачею на очисні споруди з витратами, які не перевищують їх проектної потужності.

При вирішенні другої задачі використовується ємність РЄ-1, яка перехоплює високозабруднені стічні води. При значних обсягах аварії може використовуватися і ємність РЄ-2. На очисні споруді забруднена вода з цих ємностей подається з такою витратою, яка в суміші з іншими виробничо-побутовими, поверхневими стічними та дренажними водами матиме дозволену концентрацію забруднених речовин (з урахуванням вимог біологічного способу очищення).

Для розв'язання третьої задачі передбачено центральний пункт оперативного управління, з якого забезпечується збір інформації від датчиків автоматизованої системи контролю стічних вод (Д1, Д2), розробка управлінських рішень та видача команд на автоматизовану запорно-регулюючу апаратуру. Через широку мережу міжелементних трубопроводів забезпечується подача стічних вод встановленими витратами на очисні споруди у відповідності до прийнятих управлінських рішень.

Для упорядкування існуючого водовідведення в населених пунктах України кожний з 4-ох способів водовідведення треба доповнити описаним вище модулем водовідвідної системи. При цьому усі водовипуски неочищених поверхневих стічних вод у водні об'єкти ліквідуються, а стічні води, що потрапляли до цих випусків, відводяться на відповідні насосні станції і подаються на біологічні очисні споруди так, як це описано для розглянутого вище модулю.

В залежності від місцевих умов та характеристик існуючого водовідведення при його упорядкуванні економічно більш вигідним може стати не відведення усіх стічних вод до очисних споруд населеного пункту, а будівництва локальних очисних споруд та відведення до них частини поверхневих стічних та дренажних вод.

Подача поверхневих стічних та дренажних вод населених пунктів на очисні біологічні споруди або на ЛОС здійснюється за умов його регулювання ємностями, які створюються біля наново створюваних насосних станцій, або у районі існуючих насосних станцій перекачки стічних вод житлово-комунального господарства.

Застосування технологій фіторемедації для очищення поверхневих стічних та дренажних вод є одним з досить ефективних та відносно дешевих видів локальних очисних споруд [13], на яких використовується здатність вищих водних рослин (очерет, ірис та ін.) очищувати стічні води від багатьох забруднюючих речовин та підвищувати ефективність очищення вод за допомогою інших

компонентів біоценозу, зокрема, бактерій та молюсків. З економічних міркувань при упорядкуванні водовідведення в населених пунктах поверхневі стічні та дренажні води, що не очищуються на очисних спорудах населених пунктів регіону, рекомендується очищувати переважно з використанням технологій фіторемедиції.

При застосуванні локального очищення поверхневі стічні та дренажні води спочатку пропонується направляти в акумулюючі ємності, які виконують також функцію відстійника, а потім – на локальні очисні споруди. Лише механічне очищення на відстійниках та нафтовловлювачах не може довести якість очищених поверхневих стічних вод до нормативних вимог, враховуючи суттєве забруднення цих вод органічними речовинами та їх значне бактеріальне забруднення при аваріях на мережі відведення побутових стічних та дренажних вод. Згідно з [14] остаточний вміст завислих речовин в очищених стічних водах після механічної очистки складає 50-200 мг/л, нафтопродуктів – 0.5 – 5мг/л, органічних домішок 50-10 мг/л в перерахунку на ХСК і 20 – 30 мг/л в перерахунку на БСК, що значно вище гранично допустимих концентрацій (ГДК) для водойм комунально-побутового призначення, а доочистка на фільтрах всього об'єму дощового стоку населених пунктів практично не можлива. Тому необхідними є біологічні методи очищення ПСВ, причому найбільш ефективним для цього є застосування технологій фіторемедиції.

Локальні очисні споруди для очищення поверхневих стічних та дренажних вод складаються з допоміжних акумулюючих ємностей (які вирівнюють подачу стічних вод на очисні споруди), а також споруд фіторемедиції. Акумулюючі ємності виконують також функцію первинних відстійників.

Для ефективної роботи споруд фіторемедиції вміст завислих речовин в неочищених стічних та дренажних водах не повинен перевищувати 500 мг/л. В поверхневих стічних водах населених пунктів концентрація завислих речовин коливається в межах 1100 – 4500 мг/л. Тому для ефективної роботи споруд фіторемедиції відстійники необхідні. За іншими показниками (БСКпов, нафтопродуктам, та іншим) попереднє очищення поверхневих стічних та дренажних вод не потрібне.

Об'єм відстійників застосовується для приймання всього розрахункового обсягу дощових вод. Якщо інтенсивність та тривалість дощу перевищує розрахункові показники, то частина води з відстійників через аварійні переливні пристрої скидається безпосередньо у водні об'єкти (рис. 2), але ця вода порівняно чиста, бо пройшла механічне очищення у відстійнику.

Відстійники створюються шляхом спорудження поперечних земляних дамб у водовідвідних балках і оточуючих дамб в існуючих заболочених місцевостях. Кількість секцій відстійників повинна бути не менше двох, за умови, що всі вони робочі. За мінімальної кількості їх розрахунковий об'єм необхідно збільшувати у 1,2 – 1,3 рази згідно з ДБН В.2.5-75:2013 .

Після механічного очищення на відстійниках поверхонь, за основними забруднюючими речовинами, поверхневих стічних та дренажних вод, а саме за БСКпов та нафтопродуктами, їх залишкові концентрації після очищення на спорудах фіторемедації не перевищуватимуть, відповідно, 6 та 0,3 мг/л, концентрація завислих речовин – не більше 5-6 мг/л.

Запропоновані ЛОС можуть працювати у суттєво нерівномірному режимі. Витрати поверхневих стічних вод, що подаються на очисні споруди, можуть досягти декількох м³/с, а на протязі 2-3 місяців стічна вода може зовсім не поступати на ЛОС. Для різноманітних умов роботи ЛОС та для широкого діапазону витрат дощових вод та концентрацій забруднюючих речовин розробляються необхідні режими експлуатації цих очисних споруд.

У спорудах фіторемедації, які складають основу ЛОС, об'єднуються основні елементи споруд ґрунтового очищення з гідробіоценозами біоплато або біоставків з вищою водною рослинністю (ВВР). Відмінною рисою споруд фіторемедації є штучно сформований біогеоценоз, кількісні і якісні характеристики складових компонентів якого формуються під безпосереднім і опосередкованим впливом ВВР. В спорудах фіторемедації використовуються ВВР з добре розвиненою кореневою системою – очеретом звичайним, рогозом, очеретом озерним та іншими.

В спорудах фіторемедації для очищення стічних вод використовується весь комплекс фізичних, фізико-хімічних, хімічних і біохімічних процесів.

В залежності від вихідних концентрацій нормованих інгредієнтів, зовнішніх чинників (температури повітря, величини атмосферних опадів, інсоляції) і режиму експлуатації, час контакту потоку з біогеоценозом, при якому досягається максимальний ефект очищення, для різноманітних сполук складає від 0,5 до 6 діб.

На рис. 3 наведено залежність ступені очистки стічних вод від часу контакту [14].

$\Delta C, \%$

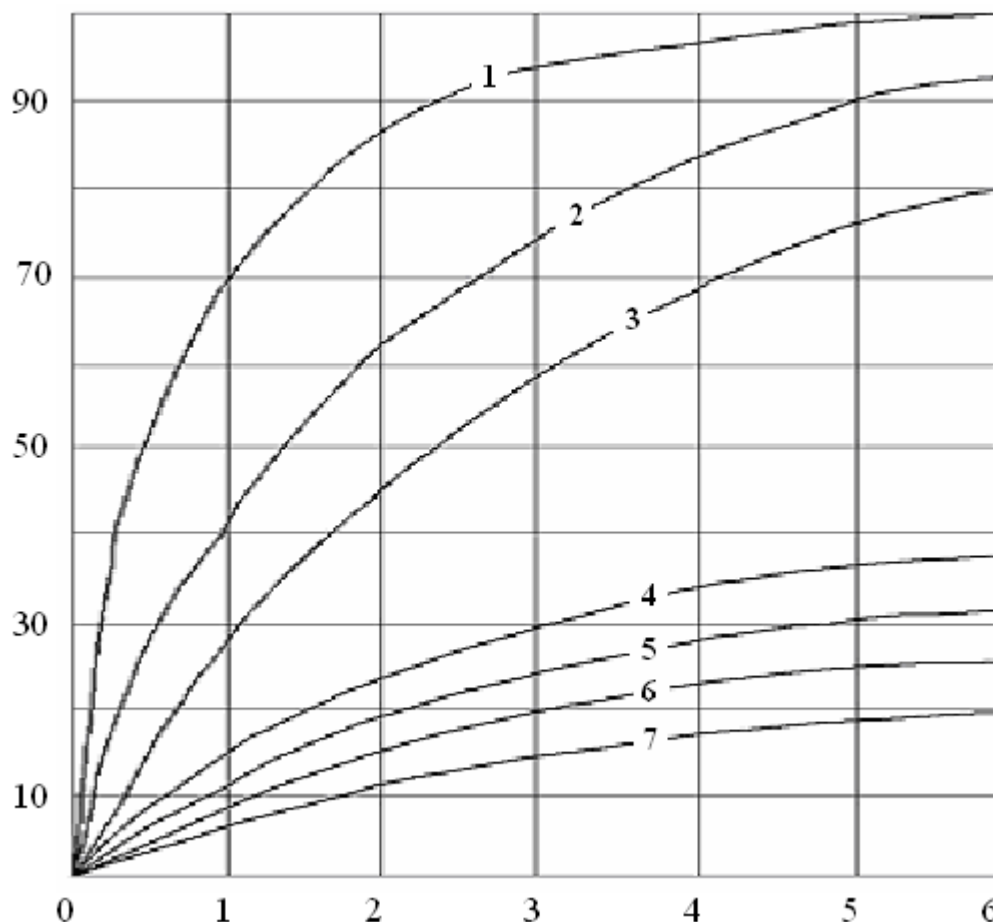


Рисунок 3 – Ефективність очищення стічних вод на спорудах фіторемерадації в залежності від часу контакту:

Межі застосування графіку:

1 – азот нітратний – 10-200 мг/дм³;

2 – азот амонійний – 1-100 мг/дм³;

3 – органічні речовини (за ХСК)– 50-400мг/дм³;

4 – сульфати – 500-3000 мг/дм³;

5, 6, 7 – натрій, магній, кальцій – до 500 мг/дм³.

Проведення вертикального планування території, прилеглої до водного об'єкту на території населеного пункту. Для перехоплення неочищених поверхневих стічних та дренажних вод, що потрапляють до водних об'єктів неорганізованим (поверхневим) способом, вертикальне планування усіх забудованих територій повинно буди забезпечено спеціальними конструктивними елементами - парапетами, бордюрами, кюветами і т.п. На практиці ця робота, як правило, виконується не в повному обсязі, що веде до суттєвого зниження ефективності

всього комплексу робіт щодо вертикального планування території. Тому при впровадженні системи ЕБВ цей недолік повинен бути усунений.

Застосування для всіх способів водовідведення дощоприймачів з осадовою камерою.

Для запобігання замулюванню та засміченню трубопроводів водовідвідних мереж поверхневих стічних та дренажних вод необхідно застосовувати лише такі дощоприймачі, які мають осадову камеру для уловлювання піску і сміття. Практика свідчить, що вартість робіт по впровадженню таких дощоприймачів значно нижча, ніж вартість очищення засмічених трубопроводів.

При впровадженні системи екологічно безпечного водовідведення необхідно обов'язково передбачити створення єдиної системи керування водовідведенням всіх категорій стічних вод населених пунктів регіонів.

Організація єдиної системи керування водовідведенням об'єктивно збільшить обсяг функцій, що виконуватимуться при управлінні водовідведенням населених пунктів. Крім того, впровадження додаткового фрагменту (див. рис. 2) в існуючих схемах водовідведення потребує скорочення строків прийняття рішень та їх гарантоване виконання як у штатному режимі експлуатації, так і при виникненні аварійних ситуацій у роботі водовідведення. Все це потребує при впровадженні екологічно безпечного водовідведення підвищення рівня автоматизації оперативного контролю та оперативного керування, а також створення центрального пункту оперативного управління всією системою водовідведення. Система водовідведення, особливо розташованих на евтрофованих водних об'єктах населених пунктів, до складу якої входить описаний вище фрагмент і додаткові технологічні елементи і у якій впроваджено зазначені організаційні перетворення, буде мати нові якісні характеристики. Тому для оцінки ефективності (з екологічної точки зору) роботи таких екологічно безпечних систем водовідведення треба використовувати набір критеріїв різного рівня – локальних та глобального.

Локальні критерії встановлюються для аналізу роботи двох достатньо самостійних підсистем водовідведення - побутово-виробничих та поверхневих стічних та дренажних вод.

Так для підсистеми відведення побутово-виробничих стічних вод у якості локального критерію пропонується використовувати наступну умову – забезпечення подачі стічних вод на очисні споруди, яка відповідає проєктним показникам щодо їх витрати та складу.

Для підсистеми відведення поверхневих стічних та дренажних вод локальним критерієм повинна бути умова повного (100-відсоткового) очищення ПСВ до нормативних вимог на локальних очисних спорудах або на комунальних біологічних очисних спорудах населених пунктів.

Глобальним критерієм ефективності функціонування екологічно безпечної системи водовідведення населеного пункту окремих регіонів повинна бути умова збереження стану екосистем водних об'єктів, які приймають стічні води населених пунктів при задоволенні потреб мешканців регіону та промислових підприємств у водовідведенні у необхідному обсязі.

Розробка та впровадження запропонованих критеріїв дасть можливість оцінювати та аналізувати ефективність роботи як окремих підсистем, так і системи екологічно безпечного водокористування евтрофних водних об'єктів в цілому.

Висновки

Перехід до еколого-соціально-економічного розвитку (сталого розвитку) є не просто актуальним, а життєво необхідним для України, що неможливо без створення передумов для збалансування інтересів навколишнього природного середовища, економічного зростання і еколого-соціальної безпеки.

Забезпечення екологічно стійкого функціонування евтрофованого водного об'єкту шляхом упорядкування водоспоживання та водовідведення в окремих регіонах України - є основними вимогами екологічно безпечного водокористування евтрофних водних об'єктів України

Функціонування системи екологічно безпечного водокористування евтрофованих водних об'єктів здійснюється з впровадженням екологічно безпечного водовідведення як безперебійного відведення стічних вод усіх категорій з території населених пунктів окремих регіонів при забезпеченні безумовного збереження або поліпшення стану екосистем водних об'єктів - приймачів стічних вод.

Розроблена система показників екологічно безпечного водовідведення населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах - вхідні, внутрішні та вихідні показники водовідведення населених пунктів окремих регіонів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах.

Для зменшення масштабів наслідків «шкідливого» цвітіння водного середовища необхідне впровадження комплексу технологічних заходів.

Розроблені конструктивні та експлуатаційні зміни в існуючих в Україні чотири способи водовідведення (роздільний, загальносплавний, напівроздільний та

комбінований), з додаванням схеми додаткового модуля, який перетворює системи водовідведення з екологічно небезпечних до екологічно безпечних.

Запропоновано впровадження систем очищення поверхневих стічних та дренажних вод перед випуском їх у водні об'єкти, шляхом:

- будівництва локальних очисних споруд дощової каналізації (ЛОС), дренажних вод, розташованих на кожному з випусків, або очищення забрудненої частини поверхневого стоку на міських очисних спорудах з використанням існуючих мереж і споруд централізованої каналізації;

- застосування технологій фіторемерації – споруд біоплато, БІС, каналів з ВВР, для очищення поверхневих стічних та дренажних вод від органічних сполук, нафтопродуктів, сполук нітрогену, фосфору, бактеріального забруднення (особливо патогенна мікрофлора).

З метою зменшення засмічення та захащення поверхневих водних об'єктів, для всіх способів водовідведення, пропонується впровадження дощоприймачів з осадовою камерою.

Розглянуті науково-практичні аспекти технологічних заходів щодо зменшення впливу «шкідливого цвітіння» водних об'єктів України дозволяють досягти належної якості очищених стічних вод, дозволених до скидання в уразливих зонах, згідно вимог «Порядку очищення стічних вод перед скиданням в уразливих зонах», затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 2 квітня 2024 р. № 378.

Література

1. Конституція України. – К.: Право, 1996. –ст. 16, 50.
2. Буркинський Б.В., Степанов В.Н., Харичков С.К. Природопользование: основы экономико-экологической теории. - Одесса: ИПРЭЭИ НАН Украины, 1999.- 350 с.
3. Стратегічні напрями сталого розвитку України // під ред. д.е.н., проф., чл.-кор. України Б.М.Данилишина - К., РВПС України НАН України, 2003. -262 с.
4. Природноресурсний потенціал сталого розвитку України / Данилишин Б.М., Дорогунцов С.І., Міщенко В.С. та ін. - К.: РВПС України НАН України, 1999.- 716 с.
5. Военно-экономический анализ / С.Ф. Викулов, Г.П. Жуков, В.Н. Ткачев, В.Я. Ушаков. – М.: Военное издательство, 2001. – 350 с.
6. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика / Н.И.Лихачев, С.А.Хаскин и др.; под общ. Ред. В.Н.Самохина.-2е изд.- М.: Стройиздат, 1981.- 639 с.

7. Правила прийому стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України. Затв. наказом Держбуду України 19.02.2002 № 37 // Офіційний вісник України № 19, 2002.-С. 52-73.
8. Довкілля України: Стат. зб. за 2004 рік / Державний комітет статистики України: під заг. кер. Ю.М. Остапчука. – К., 2005. – 260 с.
9. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Встан. Постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 р., № 465.- 4 с.
10. Дмитрієва О.О., Калашніков В.О., Василенко В.П., Колдоба І.В. Технологічні аспекти цільової екологічної „Програми упорядкування водовідведення в населених пунктах України” // УІНСІР, 2006, вип 15, с. 103-127.
11. Дмитрієва О.О., Калашніков В.О., Савченко Н.В. Проблема екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах України // Труды VIII Междун. науч.-технич. конф. “Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов” 12-16.06.2000, г. Щелкино, АР Крым. – Харьков. – 2000 . – С. 553 - 558.
12. Дмитрієва О.О., Калашніков В.О., Колдоба І.В. Водовідведення в населених пунктах України і напрямки його упорядкування // Наук.-тех. конф. “Екологія довкілля та безпека життєдіяльності”.- Знання, 2003.
13. Directive 2000/60/ EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy //Official Journal of the hing a framework for Community .-L327, 22.12.2000.-72 p.
14. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. -М.-ВНИИ „ВОДГЕО”, ВНИИВО, 1988.-47 с.
15. Стан світу 2002 / К.Флавін та ін., пер. з англ.: ВГО „ Україна. Порядок денний на XXI століття” та Інститут сталого розвитку. – К.: Інтелсфера, 2002. – 289 с.
16. ДСТУ-Н 9250:2023 Поверхневі стічні та дренажні води «Настанови щодо використання технологій фіторемедиції для очищування стічних вод від населених пунктів та окремих підприємств»

References

1. *Konstytutsiya Ukrayiny*. – K.: Pravo, 1996. –st. 16, 50.
2. *Burkynskyy B.V., Stepanov V.N., Kharychkov S.K. Pryrodopol'zovanye: osnovy ékonomyko-ékolohycheskoy teoryy*. - Odessa: YPRÉÉY NAN Ukrayny, 1999.- 350 s.
3. *Stratehichni napryamy staloho rozvytku Ukrayiny // pid red. d.e.n., prof., chl.-kor. Ukrayiny B.M.Danylyshyna - K., RVPS Ukrayiny NAN Ukrayiny, 2003. -262*

4. *Prirodno resursnyy potentsial ustoychivogo razvitiya Ukrainy / Danilishin B.M., Doroguntsov S.I., Mishchenko V.S. i dr. – K.: RVSS Ukrainy NAN Ukrainy, 1999. – 716 s.*
5. *Voyenno-ekonomicheskyy analiz / S.F. Vykulov, G.P. Zhukov, V.N. Tkachev, V.YA. Ushakov. – M.: Voennoye izdatel'stvo, 2001. – 350 s.*
6. *Kanalizatsiya naselennykh mest i promyshlennykh predpriyatiy. Spravochnik proyektirovshchika / N.I.Likhachev, S.A.Khaskin i dr.; pod obshch. Red. V.N.Samokhina.-2e izd.- M.: Stroyizdat, 1981.- 639 s.*
7. *Pravila priyema stochnykh vod predpriyatiy v kommunal'nyye i vedomstvennyye sistemy kanalizatsii naselennykh punktov Ukrainy. Utv. prikazom Gosstroya Ukrainy 19.02.2002 №37 // Ofitsial'nyy vestnik Ukrainy №19, 2002.-S. 52-73.*
8. *Okruzhayushchaya sreda Ukrainy: Stat. sb. za 2004 god / Gosudarstvennyy komitet statistiki Ukrainy: pod obshch. rukovoditel'. YU.M. Ostapchuka. – M., 2005. – 260 s.*
9. *Pravila zashchity poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya obratnymi vodami. Ustan. Postanovleniyem Kabineta Ministrov Ukrainy ot 25.03.1999 g. № 465.- 4 s.*
10. *Dmitriyeva O.A., Kalashnikov V.A., Vasilenko V.P., Koldoba I.V. Tekhnologicheskiye aspekty tselevoy ekologicheskoy „Programmy uporyadocheniya vodootvoda v naselennykh punktakh Ukrainy” // UiNSiR, 2006, vyp 15, s. 103-127.*
11. *Dmitriyeva O.A., Kalashnikov V.A., Savchenko N.V. Problema ekologicheskoy bezopasnosti vodootvedeniya v naselennykh punktakh Ukrainy // Trudy VIII Mezhdun. nauch.-tekhnich. konf. "Ekologiya i zdorov'ye cheloveka. Okhrana vodnogo i vozdukhovogo basseyinov. Utilizatsiya otkhodov" 12-16.06.2000, g. Shchelkino, AR Krym. – Khar'kov. – 2000 . – S. 553 – 558.*
12. *Dmitriyeva O.A., Kalashnikov V.A., Koldoba I.V. Vodootvedeniye v naselennykh punktakh Ukrainy i napravleniya yego uporyadocheniya // Nauch.-tekhn. konf. "Ekologiya okruzhayushchey sredy i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti". - Znaniye, 2003.*
13. *Directive 2000/60/ EC Yevropeyskogo Parlamenta i Soveta 23 Oktyabrya 2000 goda, ustanavlivayushchego rezidentsiyu dlya kommunikatsii v oblasti politsii //Ofitsial'nyy zhurnal personala dlya kommunikatsii dlya obshchestva .-L322, 2.2.*
14. *Vremennyye sovery po proyektirovaniyu sooruzheniy dlya ochistki poverkhnostnogo stoka s mestnosti promyshlennykh kompaniy i raschetu usloviy vypuska yego v akva ob'ekty. -M.-VNII „VODGEO”, VNIIVO, 1988.-47 s*
15. *Stan svitu 2002 / K.Flavin ta in., per. Z anhl.: VHO „ Ukrayina. Poryadok dennyy na KHKHI stolittya” ta Instytut staloho rozvytku. – K.: Intelsfera, 2002. – 289 s.*
16. *DSTU-N 9250:2023 Poverkhnevi stichni ta drenazhni vody «Nastanovy shchodo vykorystannya tekhnolohiy fitoremedatsiyi dlya ochyshchuvannya stichnykh vod vid naselennykh punktiv ta okremykh pidpryyemstv»*

Відомості про авторів / About the Authors

Дмитрієва Олена Олексіївна – доктор економічних наук, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7494-0674> , e-mail: dmitrieva.olena@gmail.com.

Dmytriieva Olena Oleksiyivna – Doctor of Economics, Deputy Director for Scientific Work and Research Marketing, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, (USRIEP). Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7494-0674> , e-mail: dmitrieva.olena@gmail.com.

Цапко Наталія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, завідувачка лабораторії еколого-токсикологічних досліджень антропогенного впливу на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування «Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» УКРНДІЕП, м. Харків; тел. 057-702-16-01; e-mail: tsapkonatali@gmail.com., Orcid: [http:// orcid.org/0000-0003-2480-3636](http://orcid.org/0000-0003-2480-3636)

Tsapko Nataliia Serhiivna – Candidate of technical sciences, Associate professor, Head of the laboratory of ecological and toxicological studies of anthropogenic impact on environmental components and regulation of ecologically safe nature use, Scientific-Research Institution «Ukrainian Scientific-Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), phone: +38-057-702-16-01, Kharkiv; e-mail: tsapkonatali@gmail.com., Orcid: [http:// orcid.org/0000-0003-2480-3636](http://orcid.org/0000-0003-2480-3636)

Мельнік Людмила Василівна – науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, Orcid: [http:// orcid.org/0000-0002-5989-3435](http://orcid.org/0000-0002-5989-3435), e-mail: melnik2017@meta.ua

Melnik Liudmyla Vasylivna - Researcher, Scientific Research Institution «Ukrainian Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), Kharkiv, Orcid: [http:// orcid.org/0000-0002-5989-3435](http://orcid.org/0000-0002-5989-3435), e-mail: melnik2017@meta.ua

Воробйов Микола Михайлович – науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, z9880728g@gmail.com

Vorobyov Mykola Mykhailovych – Researcher, Research Institution “Ukrainian Research Institute of Environmental Problems” (UKRNDIEP), Kharkiv, z9880728g@gmail.com

Лознюк Зінаїда Іванівна – науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків.

Lozniuk Zinaida Ivanivna - Researcher, Scientific-Research Institution «Ukrainian Scientific-Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), Kharkiv.

Т. Ф. ЖУКОВСЬКИЙ, О. А. ПАЛАГУТА, Г. В. ГУТКОВ, І. В. ОВЧАРОВА

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ УКРАЇНОЮ ЗАКОНОДАВСТВА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ У СФЕРІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

У статті проведено комплексний аналіз законодавчих і нормативно-правових актів Європейського Союзу та України у сфері охорони атмосферного повітря, екологічного нормування та регулювання викидів забруднюючих речовин. Розглянуто основні директиви ЄС щодо забезпечення якості атмосферного повітря, зокрема Директиви 2008/50/ЄС, 2010/75/ЄС, 2016/2284/ЄС та оновлену Директиву 2024/2881/ЄС, спрямовану на досягнення цілей політики «Нульове забруднення» до 2050 року. Визначено ключові підходи ЄС до моніторингу якості атмосферного повітря, встановлення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин, застосування найкращих доступних технологій та методів управління промисловими викидами.

Проаналізовано сучасний стан імплементації європейського законодавства в Україні, зокрема впровадження системи інтегрованих дозволів та адаптацію національної нормативної бази до вимог Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди. Висвітлено основні проблеми та виклики процесу імплементації, серед яких необхідність модернізації промисловості, удосконалення системи моніторингу атмосферного повітря, забезпечення фінансових ресурсів та підвищення інституційної спроможності державних органів. Окрему увагу приділено впливу воєнних дій на екологічну безпеку та необхідності реалізації принципів «зеленого» відновлення України відповідно до європейських стандартів.

Обґрунтовано, що гармонізація українського законодавства з вимогами ЄС у сфері охорони атмосферного повітря сприятиме покращенню стану довкілля, зниженню ризиків для здоров'я населення, підвищенню конкурентоспроможності промисловості та інтеграції України до європейського екологічного простору.

Ключові слова: охорона атмосферного повітря, забруднюючі речовини, навколишнє природне середовище, здоров'я людини, законодавство ЄС і України, імплементація.

The article provides a comprehensive analysis of the legislative and regulatory acts of the European Union and Ukraine in the field of air protection, environmental regulation and regulation of pollutant emissions. The main EU directives on ensuring air quality are reviewed, in particular Directives 2008/50/EC, 2010/75/EC, 2016/2284/EC and the updated Directive 2024/2881/EC, aimed at achieving the goals of the “Zero Pollution” policy by 2050. The key EU approaches to monitoring air quality, establishing maximum permissible concentrations of pollutants, and applying the best available technologies and methods for managing industrial emissions are identified.

The current state of implementation of European legislation in Ukraine is analyzed, in particular the introduction of an integrated permitting system and the adaptation of the national regulatory framework to the requirements of Directive 2010/75/EC on industrial emissions. The main problems and challenges of the implementation process are highlighted, including the need to modernize industry, improve the air monitoring system, provide financial resources and increase the institutional capacity of state bodies.

Special attention is paid to the impact of military operations on environmental security and the need to implement the principles of "green" recovery of Ukraine in accordance with European standards. It is substantiated that the harmonization of Ukrainian legislation with EU requirements in the field of air protection will contribute to improving the state of the environment, reducing risks to public health, increasing the competitiveness of industry and integrating Ukraine into the European ecological space.

Keywords: atmospheric air protection, pollutants, natural environment, human health, legislation of the EU and Ukraine, implementation.

Якість атмосферного повітря – це критично важливий аспект навколишнього середовища, що безпосередньо впливає на здоров'я людини, стабільності екосистеми та загальний стан планети. Сучасний світ стоїть перед обличчям зростаючої загрози забруднення повітря, яка визнана ВОЗ однією з найбільших екологічних загроз для здоров'я людини. Забруднення атмосферного повітря є невидимим ворогом, який щорічно стає причиною мільйонів передчасних смертей та серйозних захворювань у всьому світі, є важливою складовою якості життя людей. Тому, система моніторингу, обґрунтованість нормативів викидів, контроль цих викидів та методи вимірювання показників якості атмосферного повітря - є важливим компонентом забезпечення сталого розвитку [1-3].

Актуальність роботи. Європейський Союз приділяє значну увагу створенню ефективної системи охорони атмосферного повітря, яка базується на якісному моніторингу, науково обґрунтованих нормативах та стандартизованих методах вимірювання, це є важливим елементом забезпечення сталого розвитку та покращення якості життя громадян.

На шляху інтеграції і вступу України до Європейського Союзу важливе значення має виконання країною рішень та обов'язків нормативно-правових актів, та законодавчих документів ЄС з охорони атмосферного повітря, забезпечення його якості та чистіше повітря для Європи.

Усвідомлення масштабу цієї проблеми спонукало міжнародну спільноту, зокрема Європейській Союз, до розробки комплексних стратегій, законодавчих та нормативно-правових актів (директив, регламентів). Метою цих документів є не лише зменшення викидів забруднюючих речовин, а й встановлення чітких стандартів якості повітря, моніторингу та механізмів відповідальності для захисту здоров'я громадян та збереження довкілля [3-4].

Для України, яка активно здійснює євроінтеграційний курс, аналіз законодавства ЄС щодо охорони повітря висвітлює, як значні виклики, так і можливості:

- Масштабність завдань: імплементація цих директив вимагатиме масштабних змін у законодавстві, значних інвестицій у модернізацію промисловості, інфраструктури моніторингу та управління.

- Фінансове навантаження: потреба у значних фінансових ресурсах для переоснащення підприємств, впровадження НДТМ та створення сучасної системи контролю.

- Адміністративна спроможність: необхідність посилення інституційного та кадрового потенціалу державних органів для ефективного впровадження, контролю та нагляду за затриманням європейських стандартів.

- Війна, як фактор: повномасштабна війна створює додаткові складнощі, але, водночас, підкреслює необхідність зеленого відновлення та модернізації за європейськими стандартами, щоб уникнути відтворення старих проблем.

- Можливості: імплементація європейського законодавства сприятиме:

- покращенню здоров'я населення та якості довкілля в Україні;
- модернізації промисловості та підвищенню її конкурентоспроможності на європейських та світових ринках;

- притоку інвестицій - «зелені» технології та екологічні проекти;
- зміцненню енергетичної безпеки за рахунок підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел.

Таким чином, міжнародні законодавчі документи та нормативно-правові акти ЄС у сфері антропогенного забруднення атмосферного повітря забруднюючими речовинами представляють собою системний та амбітний підхід, спрямований на забезпечення чистого та безпечного довкілля. Для України їхній аналіз та імплементація є дорожньою картою для здійснення екологічної трансформації та наближення до європейських стандартів життя.

Нормативно-правова база ЄС у сфері впливу шкідливих чинників атмосферного повітря на навколишнє природне середовище і здоров'я людини є однією з найамбітніших та найрозвиненіших у світі. Вона спрямована на комплексний захист навколишнього середовища. Цей процес захисту середовища охоплює широкий спектр природних та антропогенних, токсичних, канцерогенних забруднюючих речовин, їх джерел викидів та механізмів контролю. З метою обмеження викидів ЗР та нормування цих викидів - ЄС проводить дослідження, розробляє найкращі доступні технології та методи (НДТМ) та пропонує їх країнам-членам ЄС, а також тим країнам, що знаходяться на стадії євроінтеграції, країнам світу.

Основними документами нормативно-правової бази ЄС з якості атмосферного повітря є:

1. Директива 2004/107/ЄС - встановлює стандарти якості атмосферного повітря [4].
2. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 2 травня 2008 року про якість атмосферного повітря [5].
3. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту і Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю)
4. Директива 2024/2881/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2024 року про якість атмосферного повітря для Європи (оновлена). «Нульове забруднення» до 2050 року [6].
5. Директива 2016/2284/ЄС про національні ліміти викидів, є ще одним важливим законодавчим актом ЄС, що стосується якості атмосферного повітря.

Головною **метою** цих Директив ЄС є зменшення негативного впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я людини та довкілля.

Директиви ЄС про якість атмосферного повітря визначають максимально допустимі концентрації забруднюючих речовин у зовнішньому повітрі (для захисту здоров'я та екосистем). Це дозволяє оцінювати ефективність впроваджених заходів та виявляти «гарячі точки» забруднення.

В таблиці 1, як приклад для деяких речовин, наведені значення відповідно до Директиви 2008/50/ЄС та Директиви 2024/2881/ЄС.

Таблиця 1 – Річне значення концентрації забруднювальної речовин відповідно до Директив, мкг/м³)

Забруднювальні речовини	Директива 2008/50/ЄС (річна норма), мкг/м³	Директива 2024/2881/ЄС (річна норма), мкг/м³	Примітка
PM _{2,5}	25,0	10,0	
PM ₁₀	40,0	20,0	
NO ₂	40,0	20,0	
SO ₂	125,0	20,0	
CO	10,0 (максимальна середньодобова 8-годинна концентрація)	4,0 (максимальна середньодобова 8-годинна концентрація)	Не більше 18 разів на рік
Бензол	5,0	3,4	

Із вищенаведеної таблиці випливає, що в Директиві 2024/2881/ЄС Про якість атмосферного повітря та чисте повітря для Європи для підприємств та установ країн-членів ЄС та тим, що знаходяться в процесі інтеграції до нього, вказані нормативи, які необхідно послідовно виконувати в період з 2030 р. до 2050 р., в період «нульового забруднення» для Європейського Союзу. Директива 2024/2881/ЄС суттєво посилює регулювання якості повітря, орієнтуючись на стандарти ВООЗ, новітніх НДТ та технологій моніторингу. Вона відображає перехід до цілісної екологічної політики ЄС у рамках стратегії «Нульове забруднення».

Таким чином, Директива 2024/2881/ЄС є кроком до створення комплексної системи охорони атмосферного повітря, що базується на наукових даних, інноваційних технологіях і принципах сталого розвитку. Її реалізація в Україні, в межах асоціації з ЄС, стане важливим кроком до інтеграції в європейську екологічну політику.

Україна розпочала процес імплементації Директиви 2010/75/ЄС. Одним з важливих кроків було прийняття Закону України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» [7], який передбачає впровадження системи інтегрованих дозволів та застосування НДТМ. На теперішній час в Україні впроваджено систему інтегрованого дозволу, при його отриманні підприємствами. В

цьому дозволі використані умови міжнародних екологічних документів для отримання інтегрованого дозволу. Однак повне виконання вимог Директиви, включаючи перехід на жорсткіші нормативи, очікується з певною затримкою, ближче до 2040-2050 років, з урахуванням перехідних періодів для підприємств.

В Україні запропоновано «План імплементації Директиви 2010/75/ЄС промислові викиди (далі-План)».

В «Плані» визначено підстави для його розроблення, мета і завдання імплементації цієї Директиви ЄС. Надано короткий опис поточного стану імплементації акту в Україні. Запропоновано заходи його імплементації [8].

Метою розроблення Плану імплементації Директиви 2010/75/ЄС є наближення законодавства України до вимог права ЄС, щодо використання інтегрованого заходу до оцінки негативного впливу планової діяльності у процесі надання дозволу підприємствам (організаціям). Цей дозвіл надається особам, які здійснюють певні види господарської діяльності для використання найкращих і доступних технологічних методів, прозорості процедури, надання дозволу, доступу до інформації, планової діяльності підприємства (організації), участі зацікавленої громадськості у процесі надання інтеграційного дозволу, доступу до правосуддя з питань надання дозволу. Відповідно законодавчому акту України, науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», запропонував імплементацію нормативів викидів стійких органічних забруднювачів (СОЗ) для підприємств України. Ці норми ЄС запропоновані з метою обмеження викидів СОЗ в атмосферне повітря, з урахуванням перехідних періодів для підприємств та забезпечення якості повітря в Україні.

В Україні у виконанні обов'язків законодавчих нормативно-правових актів законодавства ЄС приймають участь Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України, Міністерство енергетики України, Міністерство охорони здоров'я України та інші міністерства держави.

Імплементація міжнародних законодавчих документів (Директив, Регламентів та інших актів) на внутрішньому шляху - є важливим кроком до покращення якості атмосферного повітря, наближення українського екологічного законодавства до європейських стандартів та сталого розвитку України.

Література

1. Семиноженко В.П., Канило П.М., Остапчук В.М., Ровенский А.И. Энергия. Экология. Будущее. – Харьков: Прапор, 2003. – 464 с.

2. Ведь В.Е., Зубков Л.Ф., Ровенский А.И., Соловей С.Ю. Стенд для изучения аэродинамических и кинетических процессов вредных примесей в выпускных газах // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2003. -№2. С. 122-126.
3. Зажигалов В.А. Перспективы использования углеродосодержащих катализаторов в экологических процессах охраны воздушного бассейна (Обзор)// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №2. – С. 64 – 76.
4. Директива Європейського парламенту і ради 2004/107/ЄС від 15 грудня 2004 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_007-04#Text
5. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 2 травня 2008 року про якість атмосферного повітря.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text
6. Директива (ЄС) 2024/2881 Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2024 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи (перероблена)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng?utm_source=chatgpt.com
7. Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» від 04 червня 2020 р. № 3855-IX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-20#Text>.
8. Директива Європейського Парламенту та Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/984_004-10?utm_source=chatgpt.com

References

1. Seminozhenko V.P., Kanylo P.M., Ostapchuk V.M., Rovensky A.I. *Energy. Ecology. The future* - Kharkov: Prapor, 2003. - 464 p.
2. Ved V.E., Zubkov L.F., Rovensky A.I., Solovei S.Yu. *Stand for the study of aerodynamic and kinetic processes of harmful impurities in exhaust gases // Integrated technologies and energy saving*. – 2003. - #2. P. 122-126.
3. Zazhigalov V.A. *Prospects for the use of carbon-containing catalysts in environmental processes of air basin protection (Overview)// Ecotechnology and resource conservation*. – 2002. – No. 2. - P. 64 - 76.

4. Directive of the European Parliament and the Council 2004/107/EC of December 15, 2004 [Electronic resource]. – Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_007-04#Text
5. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and the Council of May 2, 2008 on ambient air quality.) [Electronic resource]. – Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text
6. Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and the Council of October 23, 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (revised)" [Electronic resource]. – Access mode: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng?utm_source=chatgpt.com
7. Law of Ukraine "On Integrated Prevention and Control of Industrial Pollution" dated June 4, 2020 No. 3855-IX [Electronic resource]. – Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show55-20#Text>.
8. Directive 2010/75/EC of the European Parliament and the Council of November 24, 2010 on industrial emissions (an integrated approach to pollution prevention and control) [Electronic resource]. – Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/984_004-10?utm_source=chatgpt.com

Відомості про авторів / About the Authors

Жуковський Тимофій Федорович – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-81, e-mail: gtf.niiep@gmail.com.

Zhukovsky Timofey Fedorovich - Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory. Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057)702-15-81, e-mail: gtf.niiep@gmail.com.

Палагута Оксана Анатоліївна - кандидат технічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, тел.: +38(050)3430441, e-mail: palahuta-oksana@ukr.net. ,
Orcid.: <https://orcid.org/0009-0008-4641-9903>

Palahuta Oksana Anatolyivna – PhD (Tech.sc). Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: +38(050)3430441, e-mail: palahuta-oksana@ukr.net. ,Orcid.: <https://orcid.org/0009-0008-4641-9903>

Гутков Георгій Валентинович – завідувач сектором дослідження технологічних викидів забруднюючих речовин та еколого-енергетичного аудиту. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: 067-973-77-49, e-mail: sektor63niiep@gmail.com.

Gutkov Georgiy Valentinovich – Head of the Sector for the Follow-up of Technological Research and Development of Concerns for Environmental and Energy Auditing. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: 067-973-77-49,
e-mail: sektor63niiep@gmail.com.

Овчарова Ірина Вікторівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-81, e-mail: irinarogalska7@gmail.com.

Ovcharova Irina Viktorovna – nauch. Staf. Sciences. Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057)702-15-81, e-mail: irinarogalska7@gmail.com.

АКТУАЛЬНІСТЬ МОНІТОРИНГУ ХІМІЧНОГО ТА МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ У ПЕРІОД ВОЄННИХ ДІЙ

Наведено результати багаторічних спостережень за санітарно-хімічними і мікробіологічними показниками поверхневих водних об'єктів, а також вплив воєнних дій на водні ресурси країни. Виявлені значні перевищення нормативів органічного та хімічного забруднення у річках нижчих суббасейнів Західного Бугу та Причорномор'я. Погіршення якості водних ресурсів у період ведення воєнних дій підвищує актуальність проведення санітарно-хімічного і мікробіологічного моніторингу поверхневих водних об'єктів.

Ключові слова: водні ресурси, поверхневі водні об'єкти, воєнні дії, санітарно-хімічні і мікробіологічні показники, моніторинг

The issue of ensuring access to safe and high-quality drinking water for the population of Ukraine remains of paramount importance, particularly under wartime conditions. As a result of the full-scale military aggression of the Russian Federation against Ukraine, the condition of the nation's water resources has reached a critical state, especially within the areas of active hostilities.

The principal factors contributing to the deterioration of water resources include the destruction of hydraulic and engineering infrastructure, contamination of surface and groundwater by technogenic substances, and disruption of natural hydrological regimes. During the period of warfare, Ukraine's water resources have been severely affected by pollution resulting from the discharge of approximately 36.1 thousand tonnes of waste into aquatic systems, littering by an estimated 42.4 thousand tonnes of solid debris, and the unauthorized abstraction of around 21.1 billion cubic meters of water.

Over the course of three years of armed conflict, approximately 724 hydraulic structures, 71 pumping stations, 64 sewage facilities, and 23 wastewater treatment plants have been destroyed or rendered inoperative.

Comprehensive monitoring of the sanitary-chemical and microbiological conditions of surface water bodies across Ukraine has revealed a rapid and substantial decline in water quality following the onset of Russian military aggression.

The Dnipro, Southern Bug, and Siverskyi Donets rivers have been identified as the most vulnerable in terms of pollution by biogenic compounds (nitrogen, phosphorus), integrated indicators of organic contamination (BOD/COD), heavy metals, and other priority or specific pollutants.

Ongoing military operations continue to exert adverse impacts on water bodies, leading to heightened risks within the water resources sector, depletion of available reserves, and degradation of drinking water quality. Consequently, these processes contribute to a decline in the population's quality of life and pose significant threats to public health.

Under the current wartime conditions, the importance of conducting systematic sanitary-chemical and microbiological monitoring of surface water bodies has considerably increased. The data obtained are essential for the comprehensive assessment of the state of aquatic ecosystems and for the development of effective and evidence-based measures for sustainable river basin management.

Keywords: water resources, surface water bodies, military operations, sanitary-chemical and microbiological indicators, monitoring.

Актуальним залишається питання забезпечення якісною питною водою населення України, особливо у період війни. Внутрішні води, такі, як річки, водосховища, озера - мають ключову роль для нашого довкілля і життєдіяльності у цілому. Внутрішні води є важливим джерелом прісної води для споживання людиною, здоров'я та благополуччя населення, сільського господарства та промисловості. Від них залежить біорізноманіття екосистем – широкий спектр видів рослинного і тваринного світу. Водно-болотні угіддя та повільно поточні річки покращують якість води, тому що сприяють осадженню забруднювальних речовин [1]. Водні об'єкти грають важливу роль у пом'якшенні наслідків зміни клімату регулюючи температуру довкілля [2].

Але у світі спостерігається глобальна водна криза, яка прискорюється та розширюється. За оцінками ООН щодо стану водних ресурсів у світі, здатність адаптуватися до водної кризи та зміни клімату знижується (The United Nations World Water Development Report, 2024) [3].

В Україні на сьогодні також існує актуальна і гостра проблема якості поверхневих вод і, відповідно, питної води. Актуальним питанням є забезпечення якісною водою населення країни. Питне водопостачання України на 80% забезпечується з поверхневих джерел і на 20% з підземних. Стан поверхневих

водних об'єктів має важливе значення для збереження водних ресурсів і здоров'я людини [3].

Не менш складними є питання забезпечення якісною питною водою населення, і особливо гостро це питання стоїть в період, коли країна страждає від російської агресії і, як наслідок, ризику виникнення екологічної та гуманітарної катастроф, пов'язаних, зокрема, з браком чистої питної води та порушенням сталого централізованого водовідведення - є досить високими.

Критична екологічна ситуація в Україні, як доведено у наукових роботах А. В. Гриценко та О. Г. Васенко [4], визначається комплексом факторів: недостатнє фінансування природоохоронних заходів, низький рівень екологічної культури населення, вплив промислових підприємств, неефективність управління відходами, а також, найважливіші в наш час – наслідки війни та неконтрольованої урбанізації. Ці взаємопов'язані фактори призводять до деградації природних систем, забруднення навколишнього середовища та загрози здоров'ю людини. Внаслідок впливу цих факторів в Україні спостерігається деградація природних ресурсів, зниження біорізноманіття, погіршення якості повітря та води, а також виникнення екологічно обумовлених ризиків для здоров'я населення [5, 6].

З 2022 року, в умовах повномасштабної агресії Росії проти України, стан водних ресурсів у країні спостерігається критичним, особливо в зонах активних бойових дій, на територіях військових частин та полігонів. Основними факторами негативного впливу воєнних дій на поверхневі водні об'єкти країни стали: руйнування інженерних і гідротехнічних споруд, забруднення поверхневих і підземних вод техногенними речовинами, порушення природного гідрологічного режиму. Бойові дії призвели до викиду в довкілля небезпечних забруднюючих речовин: складних органічних та неорганічних сполук, у тому числі, дуже токсичних, важких металів та інше, які забруднюють воду, ґрунт, повітря, впливають на біорізноманіття [7]. Найчастіше водні об'єкти забруднюються залишками пально-мастильних матеріалів, продуктами вибухів, побутовими та небезпечними відходами.

Бойові дії завдають значну шкоду екосистемам. Такі акти екологічного тероризму, як руйнування об'єктів інфраструктури (дамб, мостів, гідротехнічних споруд тощо), пов'язані з викидами і скидами токсичних речовин, значного органічного і бактеріологічного забруднення, що створює нові ризики для екології та санітарної безпеки поверхневих водних об'єктів.

За даними Державної екологічної інспекції України, станом на кінець серпня 2025 року, загальний екологічний збиток, нанесений навколишньому середовищу через агресію РФ, склав більше ніж 5,75 трлн грн., у тому числі:

- збитки, завдані атмосферному повітрю, становлять 955.6 млрд.грн. (16.6 % загального екологічного збитку);
- збитки, завдані водним ресурсам, – 117.8 млрд.грн. (2.1%);
- збитки, завдані земельним ресурсам, - 1270.9 млрд.грн. (22.1%);
- збитки, завдані природно-заповідному фонду та флорі й фауні, - 1303.6 млрд.грн. (35.7%).

Водні ресурси постраждали від забруднення на 73,0 мільярда гривень, спричиненого потраплянням у водні об'єкти 36,1 тисяч тонн відходів, засмічення водних об'єктів спричинило втрати на 9,8 мільярда гривень за рахунок 42,4 мільйона кілограмів сміття, а самовільне використання водних ресурсів оцінюється у 35,0 мільярда гривень, із об'ємом 21,1 мільярда кубометрів води.

На діаграмі наведено суми збитків за трьома основними показниками: забруднення, засмічення та самовільне використання, нанесених поверхневим водним об'єктам воєнною агресією РФ. (рис. 1)

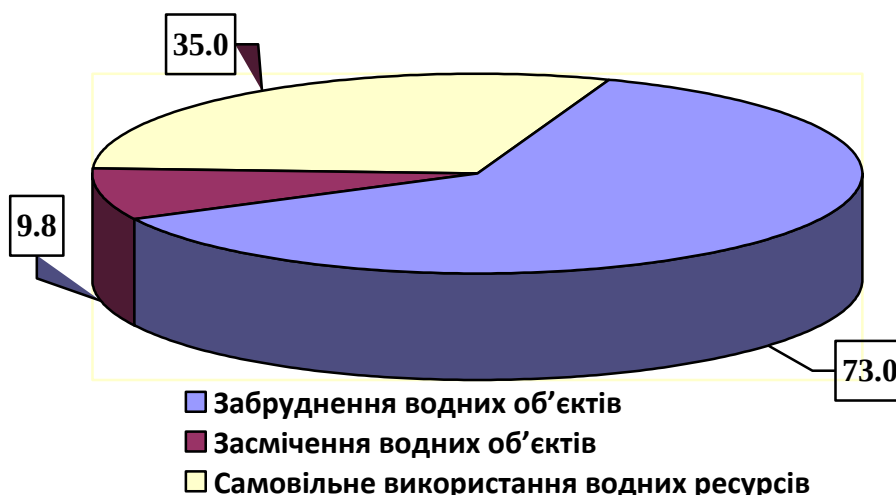


Рисунок 1 – Збитки, нанесені поверхневим водним об'єктам України воєнною агресією Російської Федерації, млрд. грн.

Як видно із діаграми, найбільше всього постраждали водні об'єкти від забруднення. Цей показник становить 61.97 % загальної суми збитків, нарахованих Держекоінспекцією в Харківській області за шкоду, нанесену поверхневим водним об'єктам воєнними діями РФ.

За попередніми оцінками, станом на початок 2024 року було зруйновано більше 1947 погонних км водопровідних мереж, частково пошкоджено або повністю зруйновано 25 водопровідних очисних споруд. Найбільше – у Харківській, Луганській та Донецькій областях. За попередніми оцінками, було пошкоджено понад 582 погонних км каналізаційних мереж, частково пошкоджено або повністю зруйновано 183 каналізаційних насосних станцій, більшість з яких знаходяться у Харківській області. Зруйновані або пошкоджені також 51 каналізаційна очисна споруда [7].

Важливими чинниками погіршення стану поверхневих водних об'єктів є наслідки руйнування Каховської ГЕС у червні 2023, у результаті чого відбувся злив понад 90 % водосховища і трапилося масове викидання органічного матеріалу, патогенних бактерій (*Salmonellas* pp., *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* тощо), важких металів (Pb, Cd, Ni, Zn, As, Cu), спостерігалася загибель риб та іншої водної фауни, фітопланктону. Розрив дамб на Дніпрі, Орілі, Осцілі спричинив ерозію донних відкладень, які повільно вивільняють забруднювачі у водне середовище. У літку і восени 2024 року через викиди хімічних речовин (аміаку, нітратів) з території РФ відбулося отруєння річок Сейм та Десна. Внаслідок чого спостерігався критичний рівень забруднення: різке зменшення розчиненого кисню у воді, збільшення концентрації амонійного азоту і нітратів, що привело до деградації екосистеми, загибелі живих організмів. Через руйнування інфраструктури і припинення водопостачання зазнали перебоїв у роботі очисні споруди, що призвело до масового забруднення стічними водами і фекальними бактеріями поверхневих водних об'єктів у східному регіоні країни. Через влучення дрону в нафтобазу в Харкові у 2024 році і широкомасштабної пожежі трапився виток у довкілля великого обсягу нафтопродуктів. За даними Державної екологічної інспекції у Харківській області площа забруднення склала близько 780 тисяч кв. м поверхневих вод, а концентрація нафтопродуктів у трьох річках Харківщини у 7 – 8 разів перевищила норму, особливо високого рівня забруднення зазнала річка Немишля, у якій нормативи були перевищені у 95 разів. За три роки бойових дій зруйновано біля 724 гідротехнічних споруд, 71 насосну станцію, 64 каналізаційні станції та 23 очисні споруди [8].

Мета написання цієї статті полягає у актуалізації моніторингу санітарно-хімічного і мікробіологічного забруднення поверхневих вод у період війни. Отримані результати необхідні для оцінки стану водних об'єктів та розроблення ефективних заходів управління річковими басейнами.

Моніторинг якості води поверхневих водойм свідчить про те, що їх екологічний стан практично не покращився, а з подовженням агресії російської федерації катастрофічно погіршився.

Санітарно-хімічні і санітарно-бактеріологічні показники є найважливішими критеріями для оцінки якості води тому, що не тільки регулюють питання безпеки споживання води, але й впливають на цілісність водної екосистеми та її біологічні індикатори – планктон, макрофіти, бентос, представників іхтіофауни [4].

До основних хімічних речовин, що впливають на якість води, відносять органічні забруднювачі, які вимірюють інтегральними показниками хімічного споживання кисню (ХСК) і біологічного споживання кисню (БСК-5), а також біогенні елементи – мінеральні форми сполук азоту і фосфору. Важливими показниками якості води є наявність завислих речовин, мінералізація води і вміст загального заліза (Fe^{+2} і Fe^{+3}). В останній час надають велике значення вмісту в воді пріоритетних і специфічних речовин. До специфічних забруднюючих речовин відносяться речовини, які мають чітко виражені токсичні отруєння: пестициди, синтетичні поверхнево-активні речовини, феноли, нафтопродукти тощо [9].

До пріоритетного ряду відносять речовини, які мають надзвичайно високу стійкість до фізичних, хімічних і біологічних трансформацій; тривалий період руйнування у навколишньому середовищі; високу токсичність навіть у дуже низьких концентраціях; здатність до акумуляції у біологічних об'єктах за рахунок високої розчинності у жирах і ліпідах; здатність до біологічного концентрування шляхом передачі по трофічних ланцюжках. Їх вважають найнебезпечнішими забруднювачами довкілля, у тому числі, і водного середовища. Це солі важких металів; нафта і нафтопродукти, феноли, хлорорганічні пестициди; поліхлоровані біфеніли, поліциклічні ароматичні вуглеводні, фталати, діоксини і фурані [9].

До санітарно-бактеріологічних показників відносять групу індикаторних мікроорганізмів і вірусів. Природний рівень бактеріологічного обсіменіння води залежить від температури, сезонних змін, типу водойми його географічних і екологічних особливостей. Тому кількість мікробного населення коливається, зазвичай, від 10^3 до 10^6 клітин в 1 мл води. Водні об'єкти населяють автохтонні (аборигенні) мікроорганізми, до яких відносяться сапрофітні бактерії різних морфологічних угруповань, водні мікроскопічні гриби, актиноміцети, а також алохтонні (чужорідні), які потрапляють у водні об'єкти з антропогенним і біологічним забрудненням. До алохтонних мікроорганізмів відносять широкий спектр бактерії родини Enterobacteriaceae spp., які належать, в основному, до групи кишкової

палички (*Escherihia coli*, *Enterobacter*, *Citrobacter*), а також патогенних – *Salmonella* spp., *Shigella*. Крім того, зі стоками у водойми потрапляють ентеровіруси і колифаги. Всі ці бактерії і віруси є індикаторами фекального забруднення. Лактозо позитивна кишкова паличка (ЛКП), патогенні бактерії і коли-фаги нормуються санітарним законодавством України. Рівень індикаторних мікроорганізмів залежить від забруднення водного об'єкту органічними речовинами і біогенними сполуками і є показником біологічного забруднення і санітарного стану водного об'єкта. Вміст ЛКП не повинен перевищувати 5000 клітин в 1 куб дм води водного об'єкту, який призначений для господарсько-побутового водокористування, оздоровчих, рекреаційних, спортивних цілей, а також для водних об'єктів в межах населених пунктів; і не повинен перевищувати 10000 клітин в 1 куб дм води водного об'єкту, що використовується для централізованого або нецентралізованого питного водопостачання, а також для водопостачання харчових підприємств [10].

З метою моніторингу мікробіологічного стану річок Сіверський Донець, Дунай, Мерло було проведено оцінювання екологічного і санітарно-бактеріологічного стану водних об'єктів за наступною структурою мікробних угруповань: загальне мікробне число (ЗМЧ) автохтонної мікрофлори і ЗМЧ алохтонної мікрофлори, бактерії групи кишкової палички (БГКП), у тому числі, умовно-патогенні, лактозо-позитивна кишкова паличка (ЛКП), патогенні ентеробактерії на прикладі родини *Salmonela* і колифаги [11 - 13].

На підставі узагальнення статистичних даних (ЦКПХ МОЗ України, Державного водного агентства України, Держспоживслужби України) і даних власних досліджень нами проведено аналіз стану поверхневих водних об'єктів в країні за 10-ти річний період, у тому числі, за період повномасштабного сторження російських військ на територію України за гідрохімічними і мікробіологічними показниками. Але частина мережі поверхневих водних об'єктів недоступна для моніторингу протягом 2022–2025 рр.

У таблиці 1 показана кількість досліджених проб води з водних об'єктів або їхні ділянок, які призначені для централізованого або нецентралізованого водопостачання і для водопостачання підприємствам харчової промисловості, які не відповідали санітарним нормам (за даними ЦКПХ).

Як видно із таблиці, найменший відсоток досліджених проб води з водних об'єктів, призначених для водопостачання, які не відповідали нормативам по санітарно-хімічним показникам спостерігався у 2017 році і становив 8,4% від загальної кількості відібраних і досліджених проб. З 2017 року по 2024 рік процент

проб води, які не відповідають нормативам по санітарно-хімічним показникам виріс у 5,5 рази. Початок стабільного зростання цього показника припало на 2022 рік, тобто на початок повномасштабних воєнних дій РФ проти України.

Таблиця 1 – Кількість досліджених проб з водних об'єктів, призначених для водопостачання, які не відповідали санітарним нормам (у відсотках до загальної кількості відібраних проб)

Показники	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025 (перші пів ріку)
Санітарно-хімічні	10,7	8,4	19,3	19,1	18,6	15,1	19,6	35,3	46,5	35,0
Мікробіологічні	11,3	17,9	22,5	20,8	19,6	15,4	15,5	27,6	17,4	15,0

По мікробіологічним показникам найгіршими виявилися 2018 – 2020 роки та 2023 рік.

У таблиці 2 показана кількість досліджених проб води з водних об'єктів або їхні ділянок, які використовують для господарсько-побутових потреб, або мають рекреаційне призначення, або знаходяться в межах населених місць, які не відповідали санітарним нормам.

З таблиці 2 видно, що кількість досліджених проб води, які не відповідають санітарно-хімічним нормам виросла у 2 рази за період 2017-2024 роки, по мікробіологічним показникам також майже у 2 рази за період 2016 – 2023 роки.

Таким чином, простежується тенденція до зростання частки проб води, що не відповідають нормативам за хімічними показниками і мікробіологічними показниками акваторій обох категорій водних об'єктів. Необхідно урахувати той факт, що через бойові дії та окупацію деяких територій неможливий доступ до пунктів моніторингу води.

Таблиця 2 – Кількість досліджених проб з водних об'єктів для господарсько-побутових або рекреаційних потреб, які не відповідали санітарним нормам (у відсотках до загальної кількості відібраних проб)

Показники	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025 (липень)
Санітарно-хімічні	19,9	15,5	20,8	23,9	23,3	22,8	23,7	29,0	31,1	39,2
Мікробіологічні	14,7	18,5	18,9	24,0	23,1	23,4	27,5	29,2	28,2	17,4

За перші пів року 2025 року лабораторіями Держпродспоживслужби обстежено понад 7700 об'єктів водопостачання. З них біля 70% мали порушення за санітарно-хімічними і мікробіологічними нормативами. З 163 досліджених проб рекреаційних зон поверхневих водних об'єктів у 15 пробах визначені значні відхилення за мікробіологічними показниками.

Звертає увагу зростання у воді нітратного забруднення. Перевищення кількості нітратів у питній воді може призвести до зниження загальних захисних функцій організму, що сприяє збільшенню рівня захворюваності, в тому числі на інфекційні та онкологічні хвороби.

Найбільший відсоток відхилень проб води з поверхневих водних об'єктів, призначених для водопостачання, які перевищували нормативні значення за хімічними показниками, відмічався у м. Києві, Київській, Запорізькій, Чернігівській, Житомирській, Вінницькій, Миколаївській областях; за мікробіологічними показниками – у м. Києві, Запорізькій, Вінницькій, Чернівецькій, Київській, Полтавській областях. А найбільш забруднена вода в рекреаційних зонах за хімічними показниками була відмічена у акваторіях Херсонської, Донецької, Житомирської, Дніпропетровської, Запорізької, Київської областей; за мікробіологічними показниками – у Тернопільській, Донецькій, Житомирській, Дніпропетровській, Миколаївській областях та м. Києві.

У таблиці 3 подані загальні тенденції динаміки змін забруднюючих речовин в басейнах основних поверхневих водних об'єктів країни в умовах воєнних дій.

Таблиця 3 – Порівняльні тренди змін показників забруднення

Басейн річки	Біогенні речовини (N, P)	Інтегральні показники органічного забруднення (БСК/ХСК)	Важкі метали/пріоритетні і специфічні речовини	Вплив воєнних дій
Дніпро	↔/↑ локально	↔	↑ після 2023	дуже високий (руйнування Каховської ГЕС)
Дністер	↔	↔	↔	середній (гідрорежим, стік)
Південний Буг	↑ (хронічно)	↑ (локально)	↔/↑	середній з тенденцією до збільшення
Сіверський Донець	↑	↑	↑	високий + прогалина даних
Дунай (UA)	▾ повільно	▾ повільно	↔/↑ епізодично	низько-середній (кумулятивний вплив)
*Примітка. Стрілки: ▾ — поліпшення; ↔ — стабільно; ↑ — погіршення/ризик зростає				

Як видно із таблиці 3 у зоні зростання ризиків забруднення знаходяться три річки: Дніпро, Південний Буг та Сіверський Донець.

Центри контролю і профілактики хвороб відмітили, що у деяких населених пунктах Полтавської, Чернігівської, Львівської, Одеської областей спостерігаються досить великі концентрації фторидів, а у Тернопільській, Київській, Харківської областях – заліза, але це пов'язано з природними особливостями ґрунтів. У річках Полтава, Свиня, Західний Буг нижче гирла Полтави виявлено перевищення за біогенними речовинами, пестицидами, важкими металами. У той же час, спостерігається збільшення сполук азоту у воді, особливо, нітратів.

У січні 2025 року Міністерство захисту довкілля затвердило програму державного моніторингу поверхневих вод на 2025 рік. Моніторинг охоплює 7 основних річкових басейнів: Дніпро, Дністер, Дунай, Південний Буг, Дон, Вісла та Причорномор'я – загалом 547 пунктів спостереження, з яких 87 діагностичних, 445 операційних, 15 дослідницьких. Особлива увага приділяється річці Сейм (через транснаціональне забруднення у 2024) та річкам суббасейну Нижнього Дніпра та Дону – через можливі наслідки військових дій.

Висновки

Моніторинг санітарно-хімічного і мікробіологічного стану поверхневих водних об'єктів на території країни виявив стрімке зростання погіршення якості вод з початком військової агресії РФ проти України.

Значні перевищення нормативів органічного та хімічного забруднення (за ХСК, БСК-5, важкими металами) спостерігаються в ключових річках і переважно у нижчих суббасейнах Західного Бугу та Причорномор'я.

Після руйнування Каховської ГЕС продовжується розмивання важких металів та токсичних відкладень у басейнах Дніпра та Чорного моря.

У зв'язку з тим, що військові дії продовжуються, вони чинять негативний вплив на водні об'єкти, що призводить до зростання ризиків у сфері водних ресурсів, їх виснаженню і погіршенню якості питної води, що, у свою чергу, призводить до погіршення якості життя людей та шкодить їх здоров'ю.

Таким чином, в період воєнних дій, які ведуться на території країни, зростає актуальність проведення санітарно-хімічного і мікробіологічного моніторингу поверхневих водних об'єктів.

Література

1. Ryan A. Sponseller, James B. Heffernan, Stuart G. On the multiple ecological roles of water in river networks / ECOSPHERE an ESA Open Access journal 06 February 2013 // Режим доступу: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/ES12-00225.1>.
2. Zahra Jandaghian and Andrew Colombo The Role of Water Bodies in Climate Regulation: Insights from Recent Studies on Urban Heat Island Mitigation Building 2024, 14(9), Collection (Sustainable Buildings in the Built Environmen) 2945//Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/buildings14092945>.
3. *The United Nations World Water Development Report, 2024/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, March 2024.; 176 c.*
4. Гриценко А. В., Васенко О. Г. «Проблеми екологічної безпеки України в умовах військової агресії» / Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 15-16 вересня 2022 р.) // УКРНДІЕП., 2022. 396 с.
5. Deepak Rawtani, Gunjan Gupta, Nitasha Khatri, Piyush K. Rao, Chaudhery Mustansar Hussain Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective / Science of The Total Environment Volume 850,1 December 2022, 157932 //Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722050318>.
6. Walter Leal Filho, Mariia Fedoruk et al The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine / Journal of Environmental Management Volume 364, July 2024, 121399.
7. Yury Polukarov* , Nataliia Kachynska, Oleksiy Polukarov, Olena Zemlyanska, Liudmyla Mitiuk. Impact of the full-scale war in Ukraine on the environment: Environmental damage assessment Law. Human. /Environment. 2024. Vol. 15, No. 1.
8. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року/ Квітень 2024 /Джерело: дані Міністерства енергетики України, Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, обласних військових адміністрацій, Energy Charter Secretariat, офіційні обмінні курси НБУ, ринкові дані, експертні припущення тощо//Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf.
9. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Д 81 Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування [Монографія] / С.В. Дудник, М.Ю. Євтушенко. – К.: Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. – 297 с.

10. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення / Наказ Міністерства охорони здоров'я України 02 травня 2022 року № 721.
11. Заключний звіт про науково-дослідну роботу «Комплексний екологічний моніторинг довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай – Чорне море у 2021-2022 роках. Район Морського підхідного каналу». Т.1 / НДУ УКРНДІЕП. – Харків, 2022. – 335 с.
12. Зінченко І. В., Васенко О. Г., Бабіч О. В., Ангіна Л. С. Моніторинг самоочищення акваторії дельти Дунаю і річки Мерло за мікробіологічними показниками. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2023. Вип. 39. С. 39-54.
13. Результати комплексного екологічного моніторингу довкілля української частини дельти Дунаю у 2022 році / О. Г. Васенко, О. Ю. Ієвлєва, Г. Ю. Міланіч, Т. В. Божко, А. Ю. Мельніков, Т. О. Клочко // Екологічні науки. - 2023. - № 6. - С. 68-72. // Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolnauk_2023_6_12.

References

1. Ryan A. Sponseller, James B. Heffernan, Stuart G. On the multiple ecological roles of water in river networks / *ECOSPHERE an ESA Open Access journal* 06 February 2013 // Режим доступу: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/ES12-00225.1>.
2. Zahra Jandaghian and Andrew Colombo The Role of Water Bodies in Climate Regulation: Insights from Recent Studies on Urban Heat Island Mitigation Building 2024, 14(9), Collection (Sustainable Buildings in the Built Environmen) 2945//Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/buildings14092945>.
3. The United Nations World Water Development Report, 2024/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, March 2024.; 176 с.
4. Hrytsenko A. V., Vasenko O. G. "Problems of environmental security of Ukraine in conditions of military aggression" / *Environmental security: problems and ways of solving them: collection of scientific articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 15-16, 2022)* // UKRNDIEP., 2022. 396 p.
5. Deepak Rawtani, Gunjan Gupta, Nitasha Khatri, Piyush K. Rao, Chaudhery Mustansar Hussain Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective / *Science of The Total Environment* Volume 850,1 December 2022, 157932 //Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722050318>.
6. Walter Leal Filho, Mariia Fedoruk et all The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine / *Journal of Environmental Management* Volume 364, July 2024, 121399.

7. Yury Polukarov*, Nataliia Kachynska, Oleksiy Polukarov, Olena Zemlyanska, Liudmyla Mitiuk. *Impact of the full-scale war in Ukraine on the environment: Environmental damage assessment* Law. Human. /Environment. 2024. Vol. 15, No. 1.
8. *Report on direct infrastructure damage from destruction as a result of Russia's military aggression against Ukraine as of early 2024/ April 2024 / Source: data from the Ministry of Energy of Ukraine, the Ministry of Development of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine, regional military administrations, Energy Charter Secretariat, official NBU exchange rates, market data, expert assumptions, etc.*// Access mode:
https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf.
9. Dudnik S.V., Yevtushenko M.Yu. *D 81 Aquatic toxicology: basic theoretical principles and their practical application [Monograph] / S.V. Dudnik, M.Yu. Yevtushenko. – K.: Publishing House of the Ukrainian Phytosociological Center, 2013. – 297 p.*
10. *Hygienic standards for water quality of water bodies to meet drinking, household and other needs of the population / Order of the Ministry of Health of Ukraine dated May 2, 2022 No. 721*
11. *Final report on the research work "Comprehensive environmental monitoring of the environment during the operation of the deep-water shipping route of the Danube River - Black Sea in 2021-2022. Area of the Marine Approach Channel". T.1 / NDU UKRNDIEP. – Kharkiv, 2022. – 335 p.*
12. Zinchenko I. V., Vasenko O. G., Babich O. V., Angina L. S. *Monitoring of self-purification of the water area of the Danube Delta and the Merlo River by microbiological indicators. Man and Environment. Problems of Neoecology. 2023. Issue 39. Pp. 39-54.*
13. *Results of comprehensive environmental monitoring of the Ukrainian part of the Danube Delta in 2022 / O. G. Vasenko, O. Yu. Ievleva, G. Yu. Milanich, T. V. Bozhko, A. Yu. Melnikov, T. O. Klochko // Ecological Sciences. - 2023. - No. 6. - P. 68-72. // Access mode:*http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolnauk_2023_6_12.

Відомості про авторів / About the Authors

Зінченко Ірина Василівна - завідувачка лабораторією. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП)
м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8554-3300>, тел. +3806632054
e-mail: ukrniiep@gmail.com

Zinchenko Iryna Vasylivna - Head of Laboratory. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8554-3300>
phone. +3806632054, e-mail: rfrfyutk@gmail.com

Густавсон Ірина Анатоліївна – старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП) м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0542-0744>, тел.+380500613967, e-mail: iryna.yermakovych@gmail.com

Gustavson Iryna Anatoliivna – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0542-0744>, phone:+380500613967, e-mail: iryna.yermakovych@gmail.com

С. Ю. КОВАЛЕНКО, В. В. БРУК

ДИНАМІКА ПОКАЗНИКІВ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У ПЕРІОД З 2015 ПО 2023 РОКИ

У статті розглянута часова динаміка в період збройної агресії та попередній період показників ЦСР, які використовуються для оцінки реалізації державної екологічної політики України. Метою роботи є оцінка можливості досягнення цільових значень вищезгаданих показників для подальшого використання отриманих результатів при корегуванні основних засад екологічної політики України. Об'єкт дослідження – показники, за якими оцінюється виконання «Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року». Предмет дослідження – динаміка показників ЦСР за період збройної агресії РФ та за попередній період. Дослідження проводились методом лінійного регресійного та детермінаційного аналізу. Усього було розглянуто 15 показників. З них для 8-ми показників при збереженні наявних тенденцій цільові значення не можуть бути досягнуті. Для решти показників цільові значення на теперішній час вже досягнуті або при збереженні тенденцій будуть досягнуті вчасно. На основі проведених досліджень розроблені пропозиції щодо внесення змін в екологічній політиці України, зокрема, сформульовані задачі, спрямовані на досягнення цільових значень за всіма показниками ЦСР.

Ключові слова: цілі сталого розвитку, державна екологічна політика, показники ЦСР, основні засади (стратегія), компоненти навколишнього природного середовища, тренд, коефіцієнт детермінації, цільові значення.

This article analyzes the time dynamic, during the period of armed aggression and the preceding period, of the Sustainable Development Goals indicators used to assess the implementation of Ukraine's state environmental policy. The aim of this study is to evaluate the feasibility of achieving the target values of the aforementioned indicators, with a view to utilising the findings to refine the fundamental principles of Ukraine's environmental policy. The object of the study is the set of indicators used to assess the implementation of the 'Basic Principles (Strategy) of Ukraine's State Environmental Policy for the Period up to 2030'. The subject of the study is the dynamics of sustainable development indicators

during the period of russian armed aggression and the preceding period. The research was conducted using linear regression and determination analysis. A total of 15 indicators were examined. The results show that for 8 of their indicators, the target values cannot be achieved if current trends persist. For the remaining indicators, the target values have already been achieved or, if trends continue, will be achieved on time. Based on the research, which was conducted, proposals have been developed for changes to Ukraine's environmental policy; in particular, objectives have been formulated aimed at achieving the target values for all sustainable development goals.

Keywords: Sustainable Development Goals, national environmental policy, SDGs indicators, key principles (strategy), components of the natural environment, trend, coefficient of determination, target values

Вступ

Сьогодні особливо відчутно загострення екологічних проблем, що зумовлені інтенсивним використанням природних ресурсів, змінами клімату, зростанням антропогенного навантаження на довкілля та, безумовно, бойовими діями повномасштабного вторгнення. Саме тому особливого значення набуває реалізація Цілей сталого розвитку, спрямованих на досягнення балансу між економікою, соціальним благополуччям і збереженням навколишнього середовища, тобто належне управління є невід'ємною частиною досягнення Цілей сталого розвитку. Безпосередньою розробкою та реалізацією Цілей сталого розвитку займається саме ООН. В Україні було розроблено та затверджено Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (№ 2697-VIII від 28 лютого 2019 року), який закладає концептуальні підходи до забезпечення екологічної безпеки та досягнення сталого розвитку. Документ спрямований на інтеграцію екологічних пріоритетів у всі галузі суспільного розвитку, раціональне використання природних ресурсів, зниження рівня забруднення довкілля та збереження біорізноманіття. Реалізація положень цього закону є важливою передумовою підвищення ефективності екологічного управління та забезпечення належного стану навколишнього природного середовища [1]. Для корегування у подальшому екологічної політики України необхідним є дослідження динаміки показників, за якими оцінюється вищезгаданий закон.

Мета роботи – оцінка можливості досягнення цільових значень показників ЦСР, що представлені у Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

Об'єкт дослідження – показники, за якими оцінюється виконання «Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

Предмет дослідження – динаміка показників ЦСР за період збройної агресії рф та за попередній період.

Питанням досягнення цілей сталого розвитку в Україні у довоєнний період та у період збройної агресії рф займалися такі науковці як Вікторія Базилевич [2], Зоряна Бурик [3], Юлія Муромцева [4], Ірина Замула [5], Юрій Бицюра [6], а у світі – Гофен Ван [7], Маргарита Бакеро [8.], Каміла Гарсія [9], Шайлеш Тріпаті [10] та ін.

Основні результати досліджень.

Частка відновлювальних джерел енергії (включно з гідроенергетичними потужностями та термальною енергією) (% загального споживання енергії) – ЦСР 7.3.1 [11]. Відповідно до даних Державної служби статистики України [12] частка енергії, яка вироблена з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії від 2015 року до 2020 року постійно збільшувалась (рис. 1). За вказаний період частка енергії зросла на 4,2%. При цьому була виявлена значима тенденція до зростання показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,98$). Це свідчить про те, що відбувається постійний розвиток цих джерел енергії, а також їх використання під час виробництва. Таким чином, підприємства стають менш залежними від традиційних джерел енергії. На жаль, дані за 2021–2023 роки наразі не доступні. Розкриття інформації буде відновлено після завершення граничного терміну подання звітності, встановленого Законом України «Про захист інтересів суб'єктів звітності та інших документів під час воєнного стану або війни» [13].

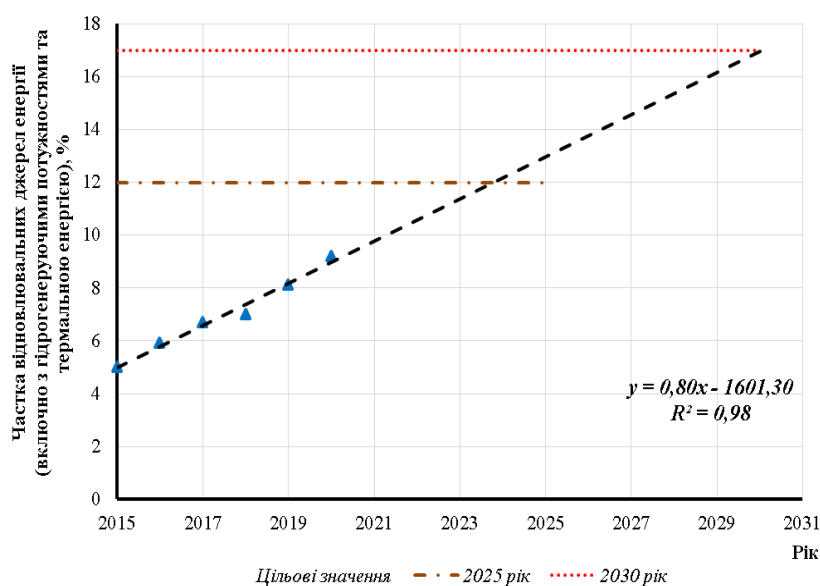


Рисунок 1 – Частка відновлювальних джерел енергії

Щодо подальших років значення частки відновлювальних джерел енергії можна оцінити аналітичним шляхом на основі тренду, тобто цільове значення на 2025 рік, що становить 12%, мало бути досягнуто у 2024 році, а показник за 2030 рік (17%) має бути досягнутий у термін, проте за відсутності даних неможливо підтвердити чи спростувати дані гіпотези.

Водоємність валового внутрішнього продукту (куб. метрів використаної води на 1000 гривень валового внутрішнього продукту, у фактичних цінах, $\text{м}^3/1000 \text{ грн}$) – ЦСР 6.4.1 [11]. Водоємність ВВП – показник, який демонструє відношення загального використання води до номінального ВВП. Протягом 2015–2023 років спостерігалось постійне зменшення загального використання води, що слугує зменшенню водоємності ВВП (рис. 2). Дані за 2024 рік наразі недоступні. При цьому була визначена значима тенденція до зменшення показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,95$).

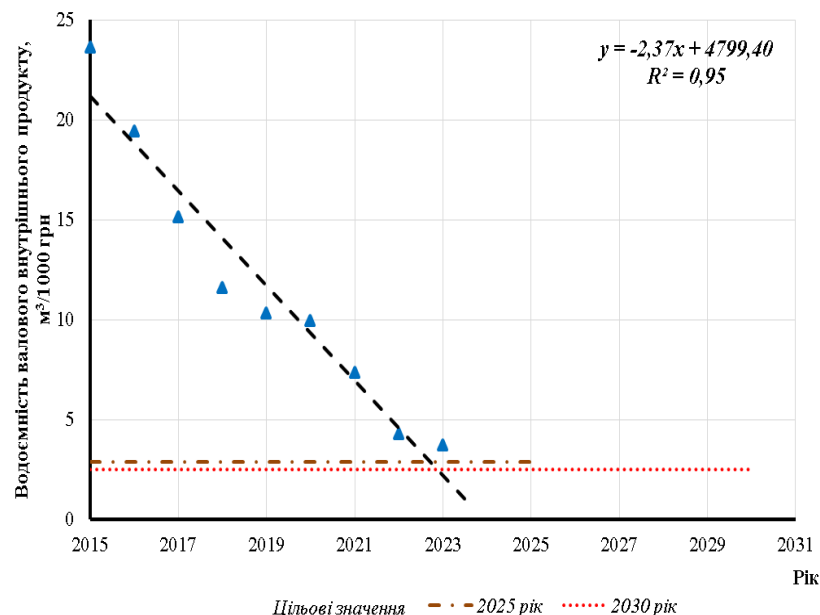


Рисунок 2 – Водоємність валового внутрішнього продукту

Цільове значення для 2025 року складає $2,9 \text{ м}^3/1000 \text{ грн}$, а для 2030 року – $2,5 \text{ м}^3/1000 \text{ грн}$. Відповідно до графіку 1.2 цільові значення мали бути досягнуті вже у 2023 році, натомість водоємність ВВП у 2023 році становило $3,74 \text{ м}^3/1000 \text{ грн}$. Однак, якщо тенденція буде збережена, то цільові значення будуть досягнуті у найближчий термін.

Енергоємність валового внутрішнього продукту (відношення витрат первинної енергії на одиницю валового внутрішнього продукту, кілограмів нафтового еквівалента (далі н.е.) на 1 долар США за паритетом купівельної

спроможності 2011 року) – ЦСР 7.4.1 [11]. Енергоємність ВВП – узагальнюючий макроекономічний показник, що характеризує рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого ВВП. У 2020 році у порівнянні з 2015 роком енергоємність ВВП зменшилась на 0,2 одиниці (рис. 3). Дані за 2021–2023 роки будуть оприлюднені після завершення встановленого Законом України [13] терміну для подання статистичної та фінансової звітності. При цьому була виявлена значима тенденція до зменшення показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,81$).

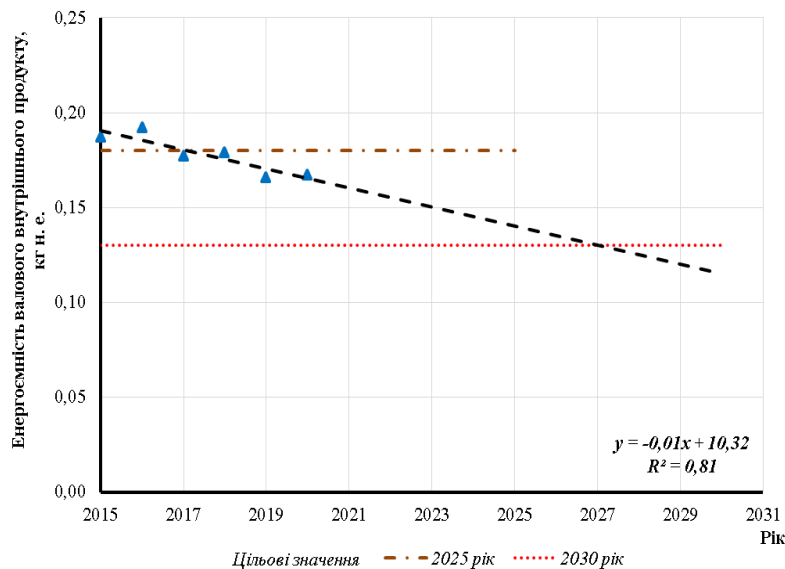


Рисунок 3 – Енергоємність валового внутрішнього продукту

Цільове значення для 2025 року складає 0,18 кг н.е., а для 2030 року – 0,13 кг н.е. Згідно з графіком 3 цільове значення для 2025 р. було досягнуто у 2017 році (0,177 кг н.е.), а наступне цільове значення має бути досягнуто у 2027 році за умови збереження наявної тенденції.

Ресурсоємність валового внутрішнього продукту (у відсотках вартості природних ресурсів в одиницях валового внутрішнього продукту, у співвідношенні до 2015 року) – ЦСР 12.1.1 [11]. Ресурсоємність ВВП – показник, який демонструє, скільки природних ресурсів споживається для створення одиниці економічної вартості. Згідно з даними Державної служби статистики України, ресурсоємність ВВП зменшилась зі 100% у 2015 році до 83,6% у 2022 році [12]. Це означає, що за сім років економіка стала на 16,4% менш залежною від споживання природних ресурсів для виробництва одиниці ВВП. При цьому була виявлена значима тенденція до зменшення показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,97$). Щодо 2023 та 2024 років значення можна оцінити аналітичним шляхом на основі тренду, тобто близько 81,5% та 80,0% відповідно (рис. 4).

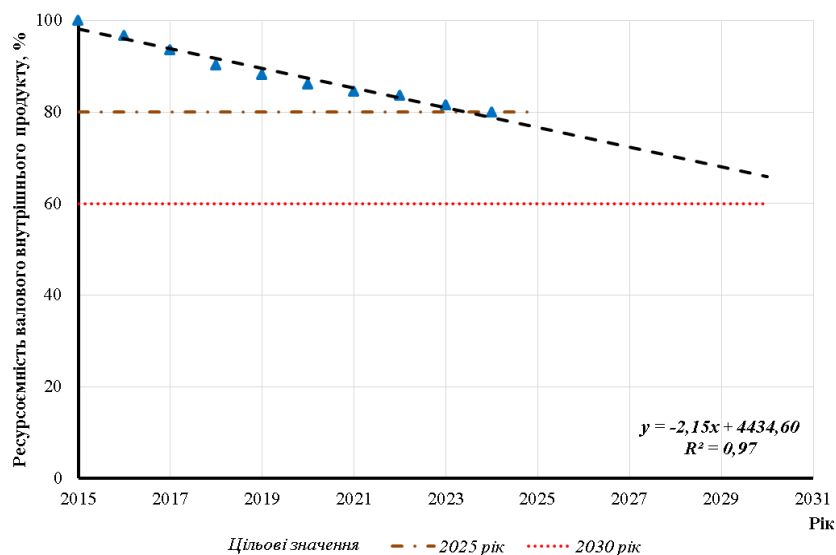


Рисунок 4 – Ресурсоємність валового внутрішнього продукту

Визначена лінія тренду свідчить, що за умови збереження наявної тенденції цільові значення на 2025 і 2030 роки будуть досягнуті.

Частка сільського населення, яке має доступ до централізованого водопостачання (% загальної кількості сільського населення) – ЦСР 6.1.4. [11]. Згідно з даними Державної служби статистики України з 2015 року до 2018 року показник зріс на 5,1%, проте до 2023 року значення зменшилось на 4,4%, що свідчить про те, що скоротилась кількість сільського населення, яке має доступ до централізованого водопостачання (рис. 5). При цьому була визначена тенденція до зменшення показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,33$), проте отримане значення свідчить, що тенденція низька.

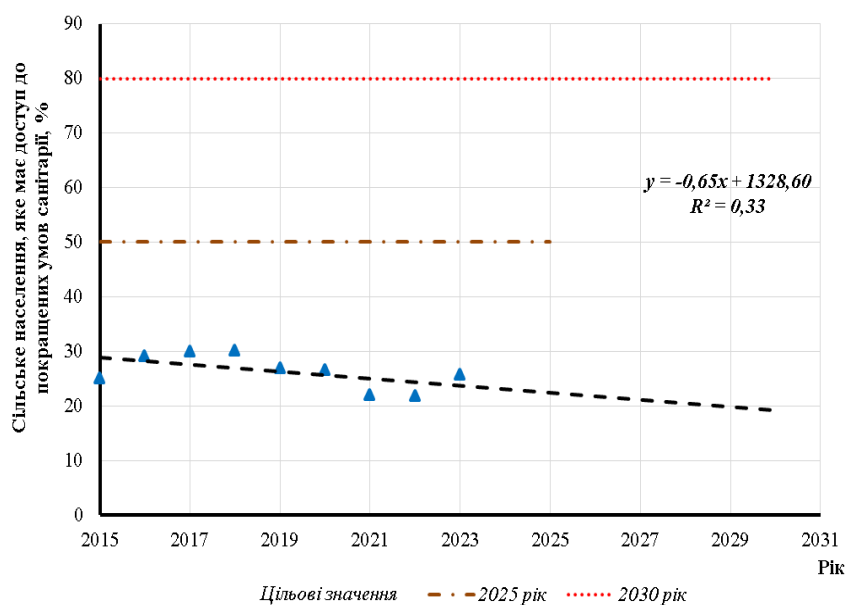


Рисунок 5 – Сільське населення, яке має доступ до покращених умов санітарії

Цільове значення для 2025 року становить 50%, а для 2030 – 80 %. З 2015 року по 2023 рік значення коливається від 25% до 30,1%. Відповідно до лінії тренду цільові значення не будуть досягнуті у зазначені терміни, оскільки кількість сільського населення, яке має доступ до покращених умов санітарії не зростає вище 30,1%. Згідно з даними державної статистики України [12] кількість сільського населення з 2015 року до 2022 року постійно зменшувалась (з 19556111 особи до 18624511 особи). З лютого 2022 року відбувається постійне переміщення переселенців, що ускладнює вести статистику населення населених пунктів.

Міське населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення (% загальної кількості міського населення) – ЦСР 6.1.5 [11]. Станом на 2015 рік кількість міського населення, яке мало доступ до централізованих систем водопостачання становила 99,0%, проте до 2023 року ця кількість зменшилась на 11,1% (рис. 6) [11]. Дані наведено без урахування тимчасово окупованих територій, відповідно до наявних статистичних звітів. Також відсутні дані за 2024 рік.

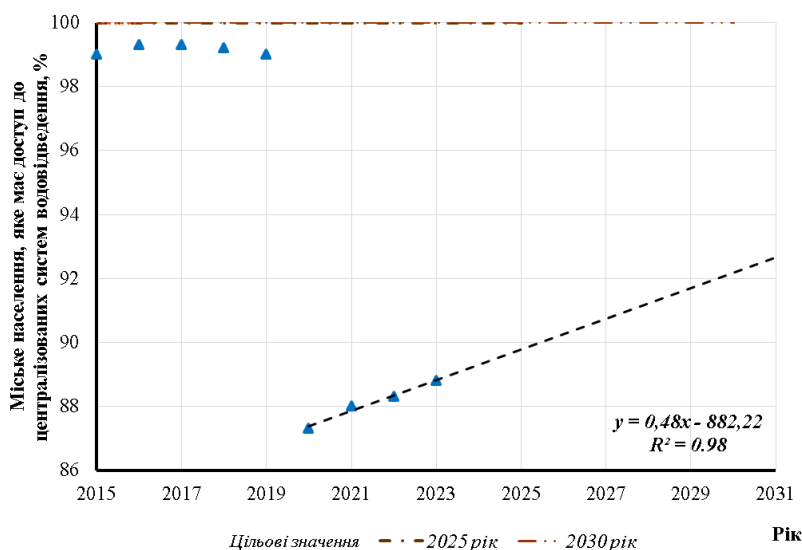


Рисунок 6 – Міське населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення для 2015 – 2023 років

Цільові значення для 2025 та 2030 років становлять 100%. Відповідно до графіку 6 у період 2015–2019 рр. показник 6 наближався до цільового значення. У 2016 і 2017 роках 99,3% міського населення мали доступ до централізованих систем водовідведення. Проте, у 2020 році, згідно звітності, спостерігалось значне зменшення цього показника (до 87,3 %). Найпевніше це зменшення пов'язано з оновленням методології обліку та впливом військових дій на інфраструктуру.

Зокрема дані з 2015 по 2019 рік стосуються забезпеченості тільки міст. З 2020 року прийнято рішення враховувати як населення міст, так і населення селищ міського типу. З 2021 року спостерігається значима тенденція до поступового зростання показника. Коефіцієнт лінійної детермінації складає 0,98. Але зростання показника є дуже повільним, що може призвести до того, що цільове значення у 2030 році досягнуто не буде. Однак, відсутність даних за 2024 та 2025 роки ускладнює можливість подальшого прогнозу.

Скиди забруднених стічних вод у водні об'єкти (% загального обсягу скидів, питома вага скидів забруднених (без/недостатньо очищених) стічних вод у загальному обсязі скидів у водойми) – ЦСР 6.3.2 [11]. У порівнянні з 2015 роком у 2023 році об'єм стічних вод зменшився на 4,64% (рис. 7). За 2024 рік дані наразі відсутні. Окремо розподіл на комунальні, промислові та зворотні води публічно не оприлюднюється. При цьому була визначена тенденція до зменшення показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,35$), значення якого свідчить, що тенденція має низьку значущість.

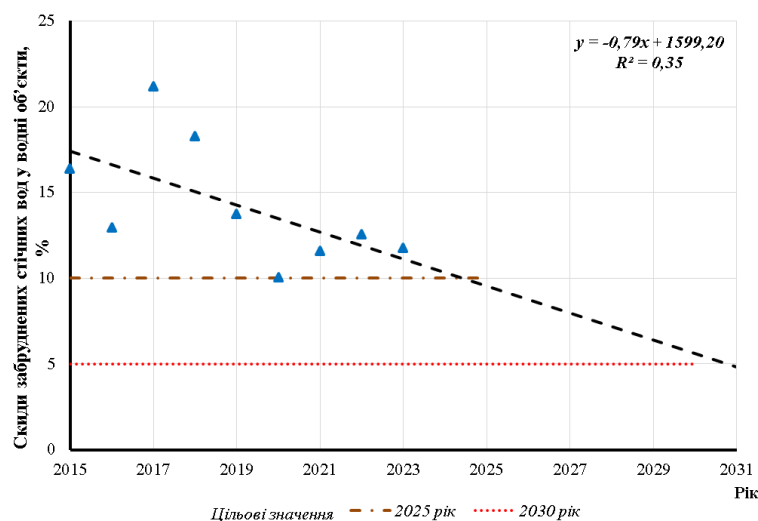


Рисунок 7 – Скиди забруднених стічних вод у водні об'єкти

Цільове значення скидів забруднених стічних вод у водні об'єкти для 2025 року становить 10%, а для 2030 року – 5%. Згідно зі значеннями тренду у 2024 році було досягнуто цільове значення за 2025 рік, проте підтвердити це наразі неможливо у зв'язку з відсутністю даних, а значення за 2030 рік буде досягнуто у 2031 році, якщо у подальшому збережеться тенденція.

Річкові басейни, для яких затверджені плани управління річковими басейнами (одиниць) – ЦСР 6.5.1 [11]. Наразі в Україні згідно зі статтею 131 Водного кодексу України встановлено 9 районів річкових басейнів. А відповідно до статті 13²

ВКУ плани управління річковими басейнами розробляються та виконуються з метою досягнення екологічних цілей, визначених для кожного району річкового басейну. Тому на 2024 рік розроблено плани управління для усіх річкових басейнів, які наведено на сайті Держводагенства України [14; 15].

Скиди забруднених стічних вод до морського середовища (% загального обсягу скидів до морського середовища) – ЦСР 14.1.1 [11]. Скиди забруднених стічних вод до морського середовища з 2015 року до 2023 року зменшився на 28,07% [11]. Дані державного обліку водокористування за 2022–2023 роки надаються з урахуванням подання звітності відповідно до норм Закону України [13], а також без водокористувачів тимчасово окупованої російською федерацією території України (рис. 8). Дані за 2024 рік наразі відсутні.

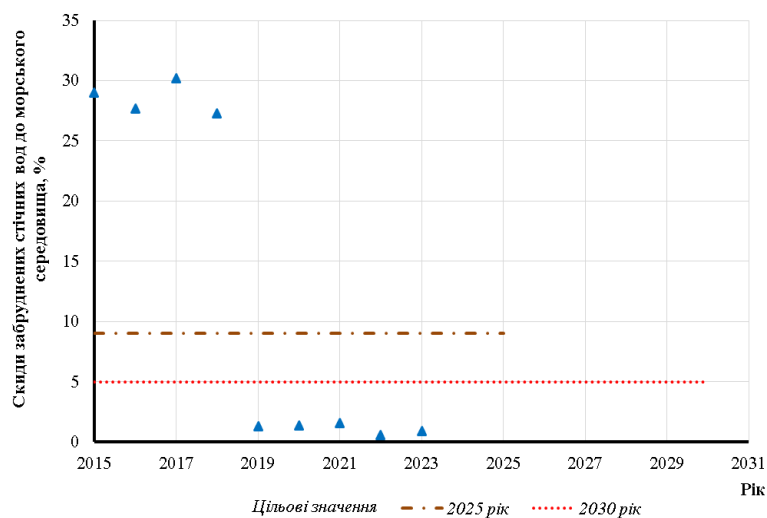


Рисунок 8 – Скиди забруднених стічних вод до морського середовища

Цільове значення для 2025 року становить 9%, а для 2030 року – 5%. Наявні дані свідчать, що ці величини вже досягнуто, оскільки з 2019 по 2023 роки скиди забруднення стічних вод до морського середовища становили 0,61 – 1,56%, проте згідно з екологічними паспортами Донецької області з 2019 року підприємство-забруднювач ПрАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»» та ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» не надають звітність про скиди стічних вод до морського середовища. Це може бути однією з причин такого стрімкого зниження звітних даних щодо обсягу скидання стічних вод.

Підприємства, в яких запроваджено системи управління хімічними речовинами згідно з міжнародними стандартами (% загальної кількості підприємств, що використовують небезпечні хімічні речовини) – ЦСР 12.3.1 [11]. Регламент CLP, який узгоджує систему Європейського Союзу з класифікації,

маркування та пакування хімічних речовин і сумішей у глобальному масштабі, набрав чинності і був затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 10 травня 2024 року № 539 «Про затвердження Технічного регламенту класифікації небезпечності, маркування та пакування хімічної продукції». Технічний регламент щодо безпечності хімічної продукції, затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 847 від 23 липня 2024 року, набрав чинності 26 січня 2025 року. Наразі Міндовкілля готується до попередньої реєстрації хімічних речовин, що стане першим кроком до повноцінної імплементації цього регламенту. Регламент, який націлений на регулювання виробництва, надання на ринку і використання хімічних речовин та хімічної продукції в зоні Європейського Союзу, безпосередньо зачіпає широке коло виробників в різних галузях промисловості, імпортерів, дистриб'юторів і споживачів хімічної продукції в країнах Співтовариства.

На травень 2024 року відомо, що 17 підприємств мають ліцензії на поводження з небезпечними відходами відповідно до нових європейських стандартів, діяльність яких не спричиняє шкоди для людей і довкілля, у 43 компаніях матеріально-технічна база дозволяє здійснювати діяльність без шкоди для людей і довкілля.

Дослідити перелік українських підприємств хімічної промисловості, які впровадили системи управління хімічними речовинами згідно з міжнародними стандартами наразі не можливо у зв'язку з відсутністю даних щодо їх наявності за 2015 – 2024 рр. [11].

Площа земель природно-заповідного фонду загальнодержавного значення (% загальної території країни) – ЦСР 15.1.2 [11]. Станом на 2023 рік площа земель природно-заповідного фонду становить 6,93 % від загальної території країни. Відповідно до даних Державної служби статистики України площа збільшилась на 0,60% у порівнянні з 2015 роком (рис. 9) [11]. При цьому була виявлена значима тенденція до зростання показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,71$).

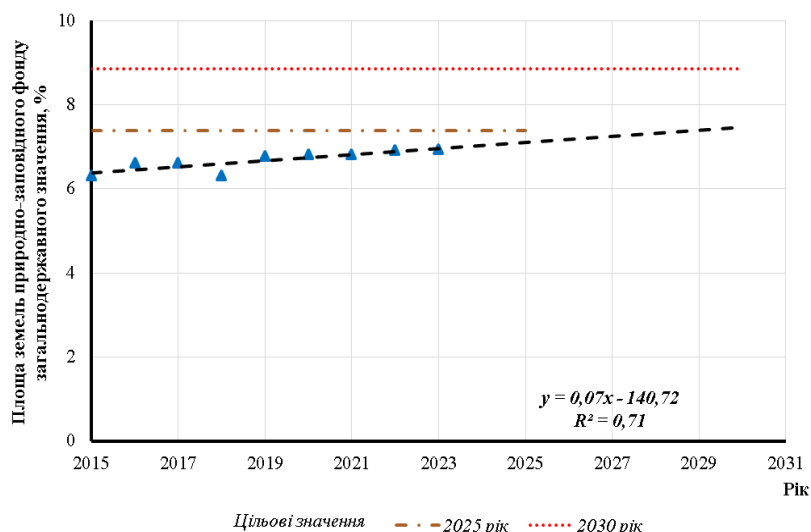


Рисунок 9 – Площа земель природно-заповідного фонду загальнодержавного значення

Цільові значення для 2025 року становить 7,38%, а для 2030 року – 8,85%.

Проте якщо тенденцію буде збережено, то необхідні величини будуть досягнуті у 2028 та 2049 роках.

Площа територій національної екологічної мережі (% загальної території країни) – ЦСР 15.1.3 [11]. Екологічна мережа – єдина територіальна система, яка включає ділянки природних ландшафтів, що підлягають особливій охороні, і території та об'єкти природно-заповідного фонду, курортні і лікувально-оздоровчі, рекреаційні, водозахисні, полезахисні території та об'єкти інших типів, що визначаються законодавством України, і є частиною структурних територіальних елементів (далі – елементи) екологічної мережі – природних регіонів, природних коридорів, буферних зон.

Моніторинг стану екологічної мережі – система спостережень за змінами компонентів довкілля в межах екологічної мережі з метою своєчасного виявлення негативних тенденцій у їх стані, оцінки можливих наслідків таких змін, прогнозування, запобігання негативним процесам, ліквідації їх наслідків. Площа територій національної екологічної мережі у 2023 році зріс на 0,01% у порівнянні з 2015 роком (рис. 10) [11]. При цьому була визначена тенденція до зростання показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,75$)

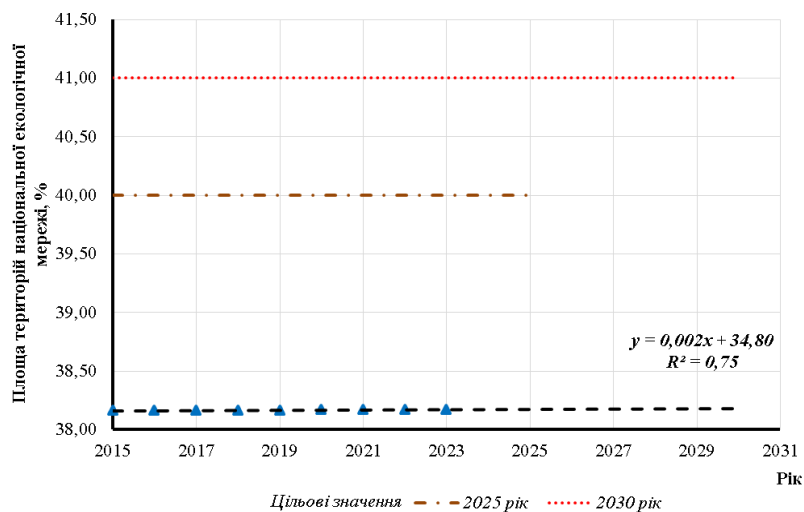


Рисунок 10 – Площа територій національної екологічної мережі

Якщо дана тенденція буде збережена, то цільові значення для 2025 року (40%) та 2030 року (41%) буде досягнуто протягом десятків років.

Лісистість території країни (% загальної території країни) – ЦСР 15.2.1 [11].

Оскільки частина територій країни перебуває під окупацією та в зоні бойових дій, то даний факт унеможлиблює здійснити повноцінну оцінку. Відповідно до даних Державної служби статистики України лісистість країни з 2015 по 2023 роки становила 15,9% (рис. 11) [11]. При цьому була визначена тенденція до зменшення показника, значення якого менше 0, що свідчить про те, що значимість тенденції досить низька.

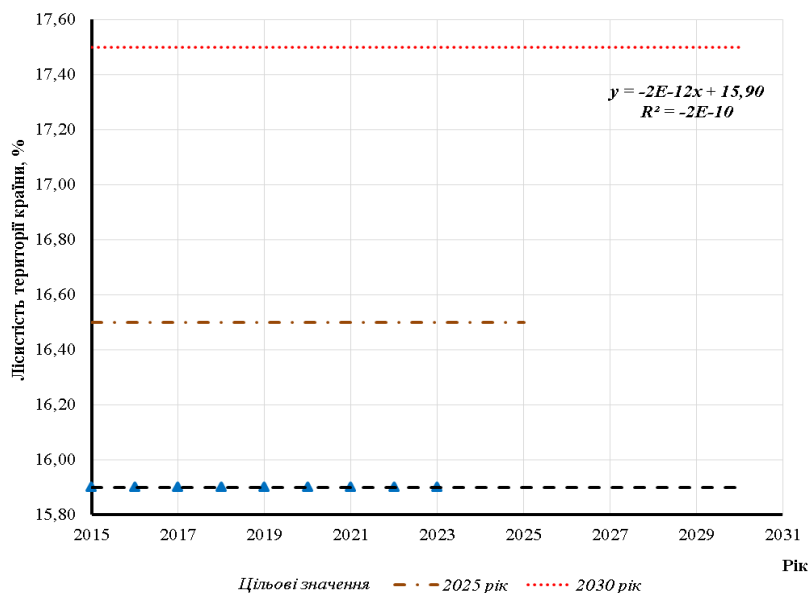


Рисунок 11 – Лісистість території країни

Цільові значення для 2025 року становить 16,5%, а для 2030 року – 17,5%. Проте з 2015 по 2023 роки лісистість території не змінилась, залишилась на рівні

15,9%. Якщо дана тенденція буде збережена, то досягнення цільових значень не можливе. Однак, коефіцієнт детермінації близький до 0, що свідчить про те, що зв'язок між лісистістю території та роками майже відсутня.

Викиди парникових газів (% обсягу викидів парникових газів у 1990 році) – ЦСР 13.1.1 [11]. У 2023 році викиди парникових газів становили 24,2% від рівня викидів парникових газів у 1990 року. Згідно з даними Державної служби статистики України у порівнянні з 2015 роком значення зменшилось на 11,7% (рис. 12). При цьому була визначена тенденція до зменшення показника, але невисокої значущості (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,57$) [16, 17]. Різке зменшення значення показника може бути спричинене тим, що частина території країни окупована. У свою чергу, це значно ускладнює проведення замірів.

Цільове значення для 2025 та 2030 років становить 60%. Проте, визначена тенденція показує, що цільові значення вже досягнуті, оскільки з 2015 по 2023 роки викиди парникових газів були 24,2 – 38,4%.

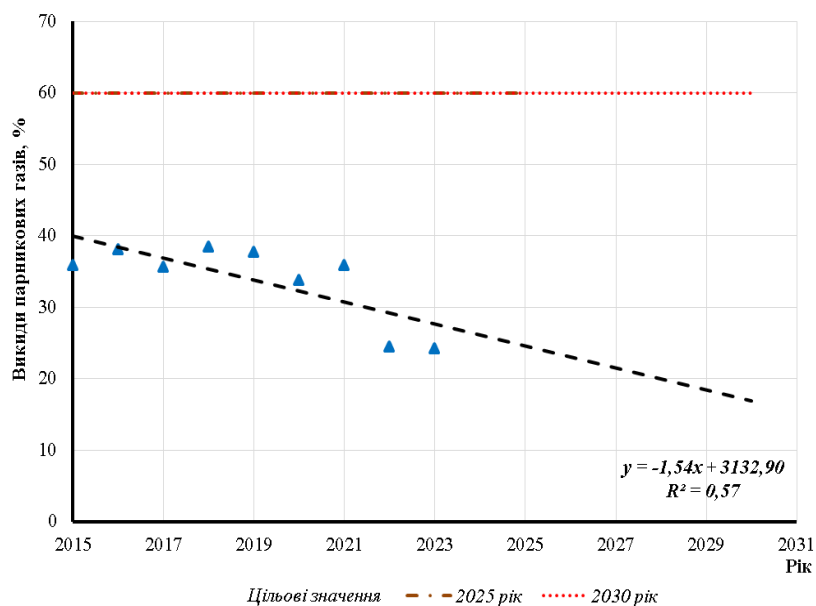


Рисунок 12 – Викиди парникових газів

Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел (% обсягу викидів у 2015 році) – ЦСР 11.5.1 [11]. У 2016 році викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел у порівнянні з 2015 роком збільшився на 7,7% відповідно до даних Державної служби статистики України, але у 2023 році обсяг зменшився на 57,2% (рис. 13). При цьому була визначена значима тенденція до зменшення показника (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,84$).

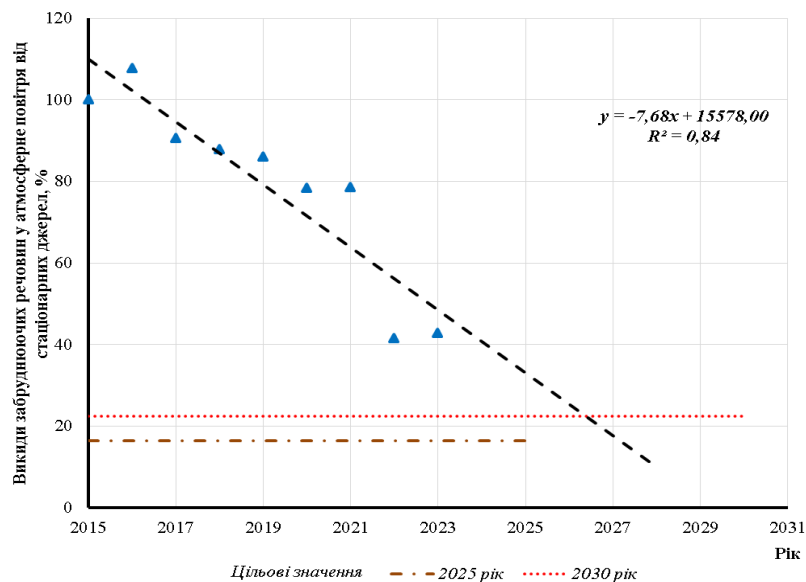


Рисунок 13 – Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел

Цільові значення для 2025 року становить 16,5%, а для 2030 року – 22,5%. Проте наявна тенденція свідчить про те, що вони будуть досягнуті у 2026 році.

Висновки

Таким чином, виявлено, що із 15 показників, які було досліджено у цій статті, для 8 показників цільові значення не будуть досягнуті вчасно: сільське населення, яке має доступ до покращених умов санітарії; міське населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення; скиди забруднених стічних вод до морського середовища; площа земель природно-заповідного фонду загальнодержавного значення; площа територій національної екологічної мережі; лісистість території країни; викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел; підприємства, в яких запроваджено системи управління хімічними речовинами згідно з міжнародними стандартами. Для решти показників цільові значення будуть досягнуті за умови збереження наявних тенденцій.

З метою збереження навколишнього природного середовища та досягнення показників Цілей сталого розвитку, на основі проведеного дослідження були сформульовані пропозиції до включення в Закон [1] додаткових завдань:

– рухатися у напрямку «нульового забруднення» навколишнього природного середовища, використовувати найкращі доступні технології та впровадити інтегрований дозвіл щодо регулювання забруднення навколишнього природного середовища відповідно до європейських вимог;

- розроблення національної стратегії відновлення ґрунтів повоєнних ландшафтів з урахуванням регіональних ґрунтових і ландшафтно-геохімічних умов та типів природокористування;
- проведення базового лісовпорядкування в першу чергу – у лісах які постраждали внаслідок війни;
- відновлення загублених і пошкоджених, внаслідок військових дій, лісів, розширене відтворення (збільшення площі) лісів, у тому числі за рахунок природного поновлення, захисного лісорозведення та агролісомеліорації;
- модернізація комунальних очисних споруд;
- збільшення каналізування сільських територій;
- стимулювання промислових підприємств до впровадження ефективних методів очищення виробничих стічних вод шляхом тимчасового зниження ставок екологічного податку та екологічних штрафів.

Література

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
2. Bazylevych V. Achieving the Sustainable Development Goals during the reconstruction of Ukraine. *Urban development and spatial planning*. 2023. No. 83. P. 29–37. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.29-37>
3. Бурик З. Прогнозування показників сталого розвитку України. *Науковий вісник «Демократичне врядування»*. 2017. № 20.
4. Муромцева Ю. І. Динаміка показників сталого розвитку України. *Географія та туризм: матеріали IX Всеукр. науково-практ. Інтернет-конф., м. Харків, 15 січ. 2026 р. Харків, 2026. С. 244–254.*
5. Замула І., Шавурська О., Кірейцева Г. Сталий розвиток України як інноваційний підхід до її повоєнного відновлення. *Science and Innovation*. 2024. Т. 20, № 3. С. 3–16. URL: <https://doi.org/10.15407/scine20.03.003>
6. Бицюра Ю., Манжула Є., Ілюхіна В. Проблеми забезпечення сталого розвитку в Україні. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 1 (52). С. 49–55. URL: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-52-7>
7. Wang G., Zhao B. Research Hotspots and Trends in Sustainable Development Goals. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2025. P. 100722. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100722>

8. Agricultural Water Footprints: trends, gaps and pathways to achieving sustainability goals. / B. Apolo-Masache et al. *Cleaner Environmental Systems*. 2026. P. 100434. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2026.100434>
9. Methodology for assessing progress in sustainable development goals indicators in urban water systems. How far are we from the 2030 targets? / C. Garcia et al. *Sustainable Cities and Society*. 2024. P. 105616. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105616>
10. Analyzing the Complexity of Sustainable Development Goals and Indicators / S. Tripathi et al. *Procedia Computer Science*. 2026. Vol. 277. P. 1462–1475. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.02.185>
11. Індикатори цілей сталого розвитку. *Indicators For The Sustainable Development Goals*. URL: <https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/goals/>
12. Банк даних. Державна служба статистики України. Головна сторінка Держстат | Державна служба статистики України. URL: <https://stat.gov.ua/uk/explorer?md5=22fb4077f27cf51088adc40eb6e2caec>
13. Про захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни: Закон України від 03.03.2022 № 2115-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2115-20#Text>
14. Плани управління річковими басейнами – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – офіційний сайт*. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/stale-upravlinnya-vodnymy-resursamy/plany-upravlinnya-richkovymy-basejnamy/>
15. Плани управління річковими басейнами. *Державне агентство водних ресурсів України*. URL: <https://davr.gov.ua/plani-upravlinnya-richkovimi-basejnamy>
16. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферне повітря / Державна служба статистики України. *Головна сторінка Держстат. Державна служба статистики України*. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vykydy-zabrudnyuyuchykh-rechovyn-i-parnykovykh-haziv-v-atmosferne-povitrya>
17. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення / *Державна служба статистики України*. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm

References

1. *Pro Osnovni zasady (stratehiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku: Zakon Ukrainy vid 28.02.2019 r. No. 2697-VIII*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.

2. Bazylevych, V. (2023). Achieving the sustainable development goals during the reconstruction of Ukraine. *Urban Development and Spatial Planning*, (83), 29–37. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.29-37>
3. Buryk, Z. (2017). Prohnozuvannia pokaznykiv staloho rozvytku Ukrainy – [Forecasting indicators of sustainable development of Ukraine]. *Academic Papers Collection “Democratic governance”*, (20).
4. Muromtseva, Y. I. (2026). Dynamika pokaznykiv staloho rozvytku Ukrainy, In materialy IX Vseukr. naukovo-prakt. Internet-konf. “Heohrafiia ta turyzm” (Kharkiv, January 15, 2026) (245–255). Kharkiv: KhNPU im.H.S.Skovorody.
5. Zamula, I. V., Shavurska, O. V., and Kireitseva, H. V. (2024). Sustainable Development of Ukraine as an Innovative Approach to Its Post-War Recovery. *Sci. innov.*, 20(3), 3–16. <https://doi.org/10.15407/scine20.03.003>
6. Bytsiura, Yu., Manzhula, Ye., & Iliukhina, V. (2025). Problemy zabezpechennia staloho rozvytku v Ukraini. *Stalyi rozvytok ekonomiky*, (1 (52)), 49–55. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-52-7>
7. Wang, G., & Zhao, B. (2025). Research hotspots and trends in sustainable development goals. *Environmental and Sustainability Indicators*, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100722>
8. Apolo-Masache, B., Domínguez-Granda, L., Baquero, M., Gobin, A., & Ramirez, A. D. (2026). Agricultural water footprints: Trends, gaps and pathways to achieving sustainability goals. *Cleaner Environmental Systems*, 100434. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2026.100434>
9. Garcia, C., López-Jiménez, P. A., Pérez-Sánchez, M., & Sanchis, R. (2024). Methodology for assessing progress in sustainable development goals indicators in urban water systems. How far are we from the 2030 targets? *Sustainable Cities and Society*, 105616. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105616>
10. Tripathi, S., Thienemann, A.-K., Brunner, M., Bachmann, N., Tüzün, A., Warnau, J., Pöchtrager, S., & Jodlbauer, H. (2026). Analyzing the Complexity of Sustainable Development Goals and Indicators. *Procedia Computer Science*, 277, 1462–1475. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.02.185>
11. Indicators for the sustainable development goals. *Indicators For The Sustainable Development Goals*. <https://sdg.ukrstat.gov.ua/goals/>
12. Data Bank. State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from <https://stat.gov.ua/uk/explorer?md5=22fb4077f27cf51088adc40eb6e2caec>
13. Pro zakhyst interesiv subiektiv podannia zvitnosti ta inshykh dokumentiv u period dii voiennoho stanu abo stanu viiny: Zakon Ukrainy vid 03.03.2022 № 2115-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2115-20#Text>
14. Plany upravlinnia richkovymy baseinamy [River basin management plans]. – Ministerstvo zakhystu dovykillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine]. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine –

official website. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/stale-upravlinnya-vodnymi-resursamy/plany-upravlinnya-richkovymi-basejnami/>

15. *Plany upravlinnia richkovymi basejnami [River basin management plans]. State Agency of Water Resources of Ukraine.* Retrieved from <https://davr.gov.ua/plani-upravlinnya-richkovimi-basejnami>

16. *Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn i parnykovykh haziv v atmosferne povitria / Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Holovna storinka Derzhstat. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy.* URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vykydy-zabrudnyuyuchykh-rehovyn-i-parnykovykh-haziv-v-atmosferne-povitrya>

17. *Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn i parnykovykh haziv u atmosferne povitria vid statsionarnykh dzherel zabrudnennia / Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy.* URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm

Відомості про авторів / About the Authors

Коваленко Світлана Юріївна – доктор філософії зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища», старший науковий співробітник лабораторії формування та регулювання якості вод, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2323-0856>, e-mail: pro100sveta.kovalenko@gmail.com.

Kovalenko Svitlana Yu. – PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Problems of Formation and Regulation of Water Quality, Scientific Research Institution «Ukrainian Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), Kharkiv, Ukraine Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2323-0856>, e-mail: pro100sveta.kovalenko@gmail.com.

Брук Володимир Вікторович – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії проблем формування та регулювання якості вод, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП), м. Харків, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8795-2869>, e-mail: morlab@ukr.net.

Brook Volodumir V. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Problems of Formation and Regulation of Water Quality, Scientific Research Institution 'Ukrainian Research Institute of Ecological Problems' (USRIEP), Kharkiv, Ukraine Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8795-2869>, e-mail: morlab@ukr.net.

Н. К. МАРКІНА, Я. В. ГОРИШНЯКОВА, Л. В. ПИЛИПЕНКО, О. С. МАР'ЄНКО

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗМІНИ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ВОД У РАЙОНІ СТАВКА-ВИПАРОВУВАЧА КНПЗ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Висвітлюються результати аналізу ретроспективної та сучасної інформації щодо зміни мінералізації підземних вод в зоні впливу ставка-накопичувача КНПЗ. Проведено порівняльний аналіз зміни мінералізації підземних вод для різних сезонів гідрологічного року. Проведено оцінку зміни в часі (в розрізі останніх десятиліть) мінералізації підземних вод. Встановлено відновлення ролі природних факторів в формуванні локальних осередків високої мінералізації підземних вод. Встановлено, що мозаїчний характер їх розповсюдження в значній мірі залежить від гідрогеологічних умов в долинно-заплавній системі р. Псел та від особливостей умов розвантаження (дренування) підземних вод. Вперше за роки функціонування ставка-випаровувача (1957-2025 рр.) встановлена реорієнтація гідродинамічної активності водного середовища на прилеглій до нього території.

Ключові слова: мінералізація підземних вод, екологічний стан, гідрохімічна оцінка, порівняльний аналіз, параметри якості води.

This paper presents the results of an analysis of retrospective and current data on changes in groundwater salinity in the area affected by the KNPP storage pond. A comparative analysis of changes in groundwater salinity across different seasons of the hydrological year was conducted. An assessment of changes in groundwater mineralization over time (over the past decades) was conducted. The restoration of the role of natural factors in the formation of local pockets of high groundwater mineralization was established. It was established that the mosaic nature of their distribution depends to a significant extent on the hydrogeological conditions in the valley-floodplain system of the Psel River and on the characteristics of groundwater discharge (drainage) conditions. For the first time in the history of the evaporation pond's operation (1957–2025), a reorientation of the hydrodynamic activity of the aquatic environment in the adjacent territory has been established.

Keywords: groundwater mineralization, ecological status, hydrochemical assessment, comparative analysis, water quality parameters.

Постановка проблеми. Значне зменшення кількості стічних вод, що скидаються в ставок-випаровувач КНПЗ, з 2014 року спричинило зниження рівня води в ньому аж до оголення дну і мозаїчного поширення локальних ділянок води по його площі. В результаті зміни гідрологічного режиму ставка-випаровувача, змінилися як умови його взаємозв'язку з ґрунтовими водами, так і гідродинамічні умови в зоні його впливу. Це, в свою чергу, викликало перерозподіл напрямів потоків підземних вод у порівнянні з попередніми роками, коли фільтрація зі ставка-випаровувача відбувалася в підпірному режимі радіального потоку.

Як наслідок цього – відбулася зміна інтенсивності техногенного впливу ставка-випаровувача на водне середовище в районі його розташування. Впродовж десяти років, починаючи з 2015 р. по 2025 р., простежується тенденція зменшення мінералізації ґрунтових вод в верхньому шарі четвертинного водоносного горизонту. Головною екологічною проблемою при цьому є контроль збереження проявленої тенденції та забезпечення квазістаціонарного режиму ґрунтових вод та режиму надходження стічних вод в ставок-випаровувач.

Вирішення цієї проблеми потребує проведення моніторингу і отримання інформації для оцінки сучасного стану підземних вод, для прогнозу його зміни у часі і, в разі необхідності – для своєчасного обґрунтування водоохоронних заходів (при зміні режиму ставка-випаровувача). Надійність прогнозу забезпечується об'єктивністю оцінки поточного стану підземних вод і достатністю моніторингової інформації.

Актуальність полягає в необхідності оздоровлення та реабілітації підземних і поверхневих вод на території, де впродовж десятиліть відбувався вплив ставка-випаровувача КНПЗ на формування її хімічного складу. Надзвичайно актуальним при цьому є визначення механізму формування солевмісту в підземних водах в залежності від гідрогеологічних умов та режиму експлуатації ставка-випаровувача, що в подальшому надасть можливість підтримувати екологічну безпеку в цій ситуації. Це можливе лише за умов наявності об'єктивної оцінки екологічного стану підземних вод та їх якісних характеристик.

Новизна досліджень полягає у висвітленні сучасного екологічного стану підземних вод щодо просторово-часової зміни їх мінералізації, на основі результатів моніторингових досліджень. Вперше за роки функціонування ставка-випаровувача (1957-2025 рр.) встановлена роль реорієнтації гідродинамічної активності водного

середовища в формуванні осередків солонуватих та сильно солонуватих підземних вод на прилеглий до нього території.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу техногенних водойм на підземні води активно проводяться майже в усіх регіонах світу. Ці питання у різних аспектах розглянуті в роботах вчених України, а саме Яковлева Є.О., Журавля М.Ю., Рудька Г.І., Гриценка А.В., Уліцького В.Л., Удалова І.В. та інших. Дослідження екологічних аспектів знайшли відображення і в працях авторів статті, які були початківцями у вивченні умов критичного забруднення підземних та поверхневих вод у районі розміщення ставка-випаровувача КНПЗ починаючи з 1991 року [1-8]. Основна увага вчених приділялася методам моніторингу впливу техногенних водойм на геохімічні характеристики водного середовища [4], а також розробці природоохоронних заходів [1-3]. У наукових публікаціях питання забруднення підземних вод розкривалися в повному обсязі, але станом на конкретний період часу.

Невирішені частини проблеми. На даний час невирішеними залишаються аспекти екологічної проблеми, пов'язані з виявленням тенденції зміни в часі мінералізації підземних вод в залежності від дотримання нормативів екологічної безпеки ставка-випаровувача. Постала необхідність у визначенні ролі в співвідношенні переорієнтованого впливу природних і техногенних факторів на формування хімічного складу підземних вод.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є гідрохімічний аналіз реорієнтації умов формування мінералізації підземних вод в районі розміщення ставка-випаровувача КНПЗ під впливом зміни режиму його експлуатації.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено наступні завдання:

- провести аналіз гідрогеологічних умов формування солевмісту в підземних водах на території, прилеглий до ставка-випаровувача, та визначити умови дренивання підземних вод річкою Псел;
- провести аналіз сучасного екологічного стану підземних вод (2024-2025рр.) щодо їх мінералізації в зоні впливу ставка-випаровувача, на основі результатів моніторингових досліджень;
- провести аналіз посезонних особливостей формування солевмісту підземних вод і представити одержані результати за допомогою графічних інтерпретацій;

- провести порівняльний аналіз показників загальної мінералізації підземних вод на території, прилеглої до ставка-випаровувача, та їх зміну в часі в залежності від режиму його експлуатації.

Матеріали і методи досліджень. В якості вихідної інформації використані ретроспективні та поточні дані моніторингових досліджень 2016-2025 років щодо загальної мінералізації підземних вод в умовах зміни режиму ставка-випаровувача КНПЗ, а також опубліковані дані щодо гідролого-гідрогеологічних умов в районі розміщення ставка-випаровувача.

Методи досліджень включають: аналіз геолого-гідрогеологічної інформації; аналіз та систематизацію вихідних даних щодо хімічного складу підземних вод; контент-аналіз; порівняльний аналіз ретроспективних та поточних параметрів фізико-хімічних досліджень, одержаних при проведенні моніторингу на протязі 2016-2025 років.

Результати досліджень

1. Гідрогеологічне обґрунтування природних умов формування мінералізації підземних вод та умов їх дренажу р. Псел в районі розміщення ставка-випаровувача КНПЗ

Ставок-накопичувач Кременчуцького нафтопереробного заводу (КНПЗ) облаштований в озері Вільне і розташований на лівобережній заплаві р. Псел. В межах території досліджень р. Псел протікає по лівобережній заплаві р. Дніпро. Територія охоплює лівобережжя р. Псел (у межах зони впливу ставка-випаровувача) і басейн його лівої притоки – р. Рудька. Глибини ерозійного врізу в північній частині території змінюються в межах 50-70 м, в південній – 60-80 м.

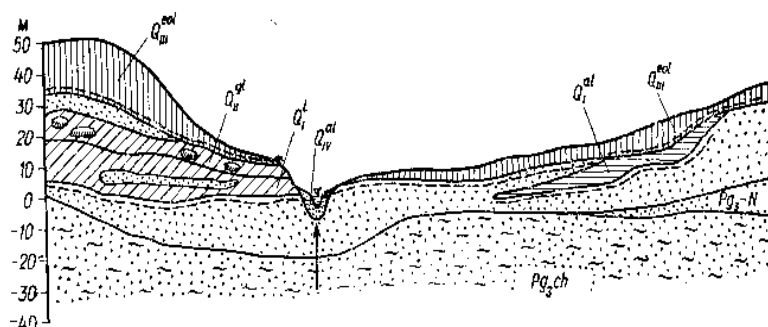


Рисунок 1 – Типова схема дренажу річкою Псел підземних вод в північній частині території досліджень

Основним водоносним горизонтом, що формує підземний стік в північній частині території досліджень - є водоносний горизонт сучасних алювіальних відкладів, приурочених до заплави Дніпра, а також до долин балок. Водовмісткі

породи представлені різнозернистими, часто глинистими, пісками, рідше – суглинками і супісками (рис. 1, 2) [9].

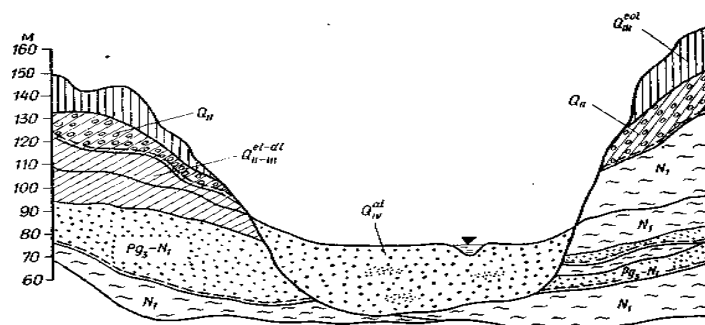


Рисунок 2 – Типова схема дренавання підземних вод в пони́ззі р. Псел (в заплаві Дніпра)

Водоносний горизонт на різних ділянках характеризується різною водозбагаченістю. Його потужність змінюється від 6 до 16 м. Горизонт безнапірний. Статистичні рівні встановлюються на глибинах 0,1-8,6 м. Живлення горизонту лише за рахунок атмосферних опадів та техногенних втрат.

Води древніх алювіальних і флювіогляціальних відкладів мають широке розповсюдження на лівобережжі Дніпра в тому числі – в долині р. Псел. Водовмісткі породи представлені різнозернистими пісками і гравієм. Водоносний горизонт приурочений до надзаплавних терас і залягає на глибинах від 1,3 м до 28,1 м, на четвертій терасі — на глибині 49 м. Води в основному безнапірні або слабо напірні, і лише в окремих випадках величина напору досягає 21 м. Живлення відбувається атмосферними опадами і нижчезалягаючими напірними водоносними горизонтами. Води широко використовуються для водозабезпечення і приймають підпорядковану участь в формуванні річкового стоку.

Підземні води лесоподібних суглинків мають слабку водозбагаченість і в живленні р. Псел відіграють незначну роль. Режим ґрунтових вод тісно пов'язаний з випадінням атмосферних опадів.

Водоносні горизонти палеогенових відкладів є одним з основних, що живлять р. Псел і впливають на формування хімічного складу ґрунтових вод в районі розміщення ставка-випаровувача, мають широке розповсюдження і приурочені до відносно неглибоко залягаючих олігоценів (харківських) відкладів. Водовмісткі породи, представлені, в основному, пісками, залягають, зазвичай, на водотривких мергелях і глинах київської світи еоцену. Харківські відклади залягають нижче місцевих базисів ерозії або вскриваються ерозійною мережею лише в верхній частині розрізу. В долині Дніпра харківська світа повністю розмита (рис. 2). Глибина покрівлі

водоносного горизонту в залежності від рельєфу місцевості і структурних особливостей території змінюються від 5-25 м до 40-60 м. Підземні води горизонту напірні, п'єзометричні рівні встановлюються на глибинах від 2,4 до 61,3 м, від поверхні землі. В долині р. Псел відбувається активне дренування зазначеного горизонту (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Типова схема дренування підземних вод річкою Псел (за даними [9])

Літологія	Вік	Водоносний горизонт (комплекс)	Гідравлічний зв'язок з річкою	Участь у підземному живленні річок
Піски, супіски, мули	alQ _{IV}	Сучасних алювіальних відкладів	Є зв'язок	Слабка
Лесоподібні суглинки, еолові піски	Q	Лесоподібних суглинків верхньочетвертинного відділу	Зв'язку нема	Незначна
Валуні суглинки та супіски		Льодовикових відкладів середнього відділу антропогена	-	-
Суглинки, піски та супіски	Q _I	Озерно-льодовикових нижньочетвертинних відкладів	-	-
Піски, рідше супіски	alQ ₁	Древньочетвертинних алювіальних відкладів	Є зв'язок	Основна
Піски, глини	Pg _{3ch}	Верхньопалеогенових відкладів	-	-

Таблиця 2 – Типова схема дренування підземних вод в пониззі р. Псел

Літологія	Вік	Водоносний горизонт (комплекс)	Гідравлічний зв'язок з річкою	Участь у підземному живленні річок
Піски різнозернисті	alQ _{IV}	Сучасних алювіальних відкладів	Є зв'язок	Значна
Моренні валунні суглинки, бурі	Q _{II}	Середньочетвертинних відкладів	Зв'язок відсутній	Незначна
Суглинки	al-dl Q _{II-III}	Середньочетвертинних алювіально-делювіальних відкладів	-	-
Строкаті глини	N ₁	Нижньонеогенових відкладів	Є зв'язок	Слабка
Піски дрібнозернисті	Pg ₃ -N ₁	Відклади нижнього неогену – верхнього палеогену	Є зв'язок	Основна

Резюме. Долина р. Псел в його пониззі дренує підземні води четвертинних, неогенових і палеогенових відкладів. Водоносні горизонти гідравлічно пов'язані в

єдиний водоносний комплекс і знаходяться в зоні інтенсивного водообміну, потужність якої близько 250 м. В таких умовах відбувається взаємовплив водоносних горизонтів, що обумовлює особливості формування хімічного складу ґрунтових вод під впливом природних факторів в районі розміщення ставка-випаровувача КНПЗ.

2. Зміна мінералізація підземних вод в районі розташування ставка-випаровувача, в залежності від сезонів гідрологічного року (вересень/грудень 2024 р. – березень/червень 2025 р.)

Оцінка проводиться за даними моніторингу, спостережна мережа якого включає свердловини, що контролюють екологічний стан ґрунтових вод на глибині 5-6 м – свердловини з індексом (а); на глибині до 10 м – з індексом (б); на глибині 12-14 м – з індексом (в).

Розповсюдження підземних вод з різною мінералізацією на протязі періоду спостережень з вересня 2024 р. по червень 2025 р. (табл. 3) носить мозаїчний характер (рис. 3).

Таблиця 3 – Мінералізація підземних вод в районі розташування ставка-випаровувача (2024-2025 рр.)

№№ свердловин	Значення мінералізації, г/дм ³			
	Вересень 2024 р.	Грудень 2024 р.	Березень 2025 р.	Червень 2025 р.
3а	0,50	-	0,45	0,50
3б	0,58	-	0,39	0,44
3в	3,06	-	1,16	1,12
4а	0,53	0,60	0,54	0,58
4б	0,56	0,64	0,57	0,57
4в	2,34	2,04	1,31	1,30
5а	1,82	0,94	0,86	0,91
6	1,98	-	1,87	1,90
7	2,00	1,54	1,42	1,51
8	2,04	0,66	0,55	0,55
9	-	-	-	1,84
10а	1,82	0,45	0,36	0,33
10б	-	3,72	3,12	3,16
11	1,97	3,83	3,25	3,23
15а	1,13	0,65	0,42	0,46
15б	0,54	0,75	0,71	0,77
16а	-	1,13	1,12	1,19
16б	2,26	1,18	1,04	1,04
36	1,47	0,76	0,82	0,83
37а	3,23	2,14	2,99	2,97
37б	0,74	2,22	0,64	0,70
57а	0,60	0,94	0,78	0,77

81	2,52	1,58	1,36	1,31
91а	1,89	0,53	0,50	0,55
91в	1,59	0,62	0,63	0,69
92	0,54	0,60	1,97	1,88
93 а	1,80	1,06	1,03	1,00
93 б	1,69	1,66	1,56	1,51
93 в	1,96	2,18	1,90	1,95
94 а	2,70	2,30	1,98	3,17
94 б	0,62	0,49	0,46	0,52
94 в	1,16	0,78	0,86	0,82
95а	0,46	-	1,47	0,68
95б	1,19	-	1,00	1,02
95в	1,29	-	1,25	1,25
107	1,89	-	1,75	1,75

В залежності від сезонів року змінюється конфігурація та положення ділянок з різною інтенсивністю засолення підземних вод. Спостерігається наступні особливості її прояву в періоди весняного повіддя, літньої, осінньої та зимової межені.

В період осінньої межені (вересень 2024 р.) мінералізація підземних (ґрунтових) вод змінювалась по території моніторингових досліджень в свердловинах з індексом (а) від 0,46 - 0,50 - 1,47 г/дм³ до 1,59 - 2,70 - 3,23 г/дм³ (рис. 3). Причому, мінералізація 2,70 г/дм³ та 3,23 г/дм³ зафіксована лише в свердловині № 94 (с. Крамаренки) і в свердловині № 37 відповідно (рис. 3а). В основному, коливання величини мінералізації відбувається в межах 1,80 – 1,89 г/дм³ (у свердловинах) і в межах 1,59-1,95 г/дм³ – у колодязях (сс. Крамаренки та Бондарі).

Мінімальна мінералізація води зафіксована в районі сс. Запсілля (0,50 мг/дм³), в північній частині с. Крамаренки у свердловині № 4 (0,53 г/дм³ та в районі с. Кузьменки у свердловині № 95 (0,46 мг/дм³) – в заплаві р. Псел, де відбувається підживлення ґрунтових вод річковою водою. В цілому, у вересні 2024 року на території виділяються 4-и основні локальні ділянки:

Перша ділянка – з мінералізацією підземних вод 0,5-1,0 г/дм³ та 1,0-1,5г/дм³, має поширення в районі с. Запсілля і частково – в районі с. Крамаренки (в північній частині села). Така мінералізація, скоріш за все, пов'язана з підрусловим потоком р. Псел. Ця ділянка простежується протягом всього періоду моніторингових досліджень (починаючи з 90-х років минулого століття).

Друга ділянка – з мінералізацією підземних вод 1,5-2,0 г/дм³, має поширення в районі с. Степівка, с. Остапці та частково – в районі с. Крамаренки (в південній частині села) – на північ від ставка-випаровувача.

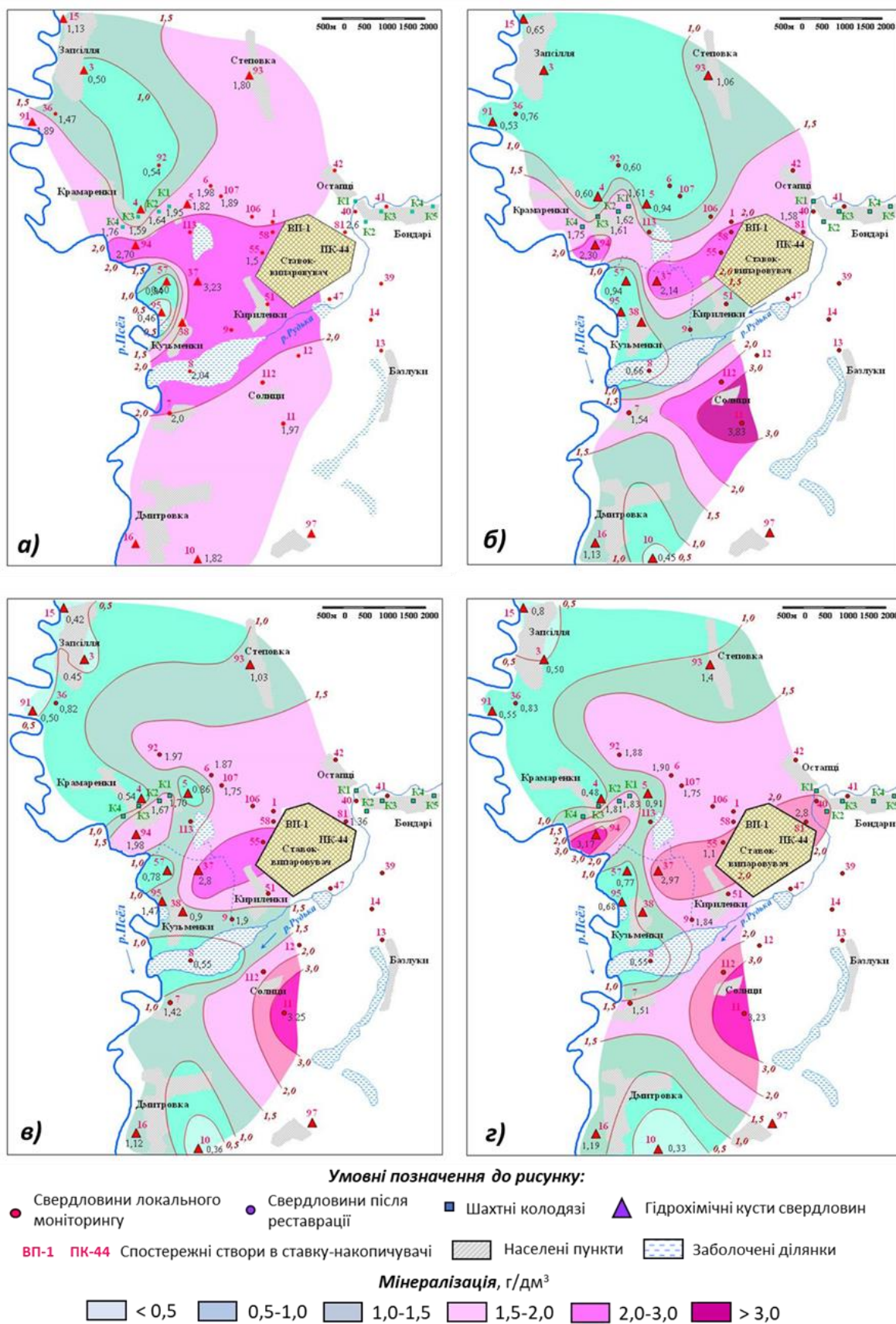


Рисунок 3 – Схематичні карти розповсюдження мінералізації підземних вод:
а) в період осінньої межні 2024 р.; б) в період зимової межні 2024 р.; в) в період весняного повіддя 2025 р.; г) в період літньої межні 2025 р.

Третя ділянка – з такою ж мінералізацією підземних вод (1,5-2,0 г/дм³), простежується на території в південно-західному напрямку від ставка-випаровувача, в районі сс. Солониці, Кияшки та Дмитрівка.

Четверта ділянка – з мінералізацією підземних вод 2,0-3,0 г/дм³, має поширення на захід від ставка-випаровувача. В цьому ореолі виділяються дві локальні невеликі ділянки: з мінералізацією більше 3,0 г/дм³ (3,23 г/дм³) і з мінералізацією менше 0,5-1,5 г/дм³ в районі с. Кузьменки – в заплаві р. Псел.

В період **зимової межені** (грудень 2024 р.) особливості розповсюдження підземних вод з різною мінералізацією кардинально змінилося (рис. 3б). По території значно переважає площа поширення прісних підземних вод з мінералізацією 0,5-1,0 г/дм³ та 1,0-1,5 г/дм³, якість яких за солемістом відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [10]. При порівнянні з вереснем 2024 року (період осінньої межені), відзначається, що зменшилася площа території з мінералізацією підземних вод 2,0-3,0 г/дм³ і значно зменшилася площа території з мінералізацією 1,5-2,0 г/дм³. Проте, в південно-західному напрямку, в районі с. Солонці, картується ділянка з мінералізацією 2,0-3,0 г/дм³ і більше 3,0 г/дм³ (3,83 г/дм³ – сврдл. №11).

Враховуючи умови зимової межені, коли живлення підземних (ґрунтових) вод, за рахунок атмосферних опадів, мінімальне і відбувається практично лише за рахунок перетоку високомінералізованих вод з нижніх водоносних горизонтів, появу ділянок з аномальною мінералізацією ґрунтових вод можна пояснити проявом впливу водоносних горизонтів, які залягають нижче, перетік яких відбувається в межах існуючих в долині р. Псел гідрогеологічних «вікон».

Мінералізація підземних вод змінювалась по території досліджень, здебільшого, від 0,45-1,54–2,14 г/дм³ і лише в селах Крамаренки та Солонці вона зафіксована на рівні відповідно 2,30 г/дм³ (сврдл. № 94) і 3,83 г/дм³ (сврдл. № 11) (рис. 3б). Дещо інша картина спостерігається в період весняного повіддя (березень 2025 р.) та в період літньої межені (червень) 2025 року.

В період **весняної повені** (березень 2025 р.) (рис. 3в), коли підвищується рівень води в р. Псел, на території переважає площа розповсюдження підземних вод з мінералізацією 0,5-1,5 г/дм³. Картина їх розповсюдження нагадує мозаїку грудня 2024 р., з тією лише зміною, що збільшилася площа території з мінералізацією 1,5-2,0 г/дм³ в напрямку на північ від ставка-випаровувача.

Мінералізація підземних вод по території в заплаві р. Псел змінюється від 0,36-0,82-1,03 г/дм³ (район с. Дмитрівка, с. Кузьменки, с. Запсілля, західна частина с. Крамаренки та с. Степовка) до 1,12-1,42-1,98 г/дм³ – відповідно в межах населених

пунктів с. Дмитрівка, с. Кияшки та в південній частині с. Крамаренки. В районі с. Солонці (свердловина №11) мінералізація підземних вод становила 3,25г/дм³. Такий характер розповсюдження мінералізованих вод спровокований переміщенням лінії берегового регулювання, яка в період весняного повіддя проходить по межі лівобережної заплави. В результаті підпору підземних вод, відбувається затримка їх розвантаження в річку, що сприяє накопиченню солей, баланс яких, крім природного надходження води з підвищеною мінералізацією з глибоких водоносних горизонтів, залежить і від надходження забруднених поверхневих вод під час їх берегової інфільтрації в підземні (ґрунтові) води в умовах танення снігу. Мінімальні концентрації ґрунтових вод (менше 0,5 г/дм³) мали поширення в районі с. Запсілля і в районі с. Дмитрівка.

В період **літньої межні** (червень 2025 р.) мінералізація підземних вод по більшості свердловин в заплаві р. Псел змінюється в межах 0,33 - 0,50 - 1,0 г/дм³. Проте, в свердловинах №16 (с. Дмитрівка), № 7 (с. Кияшки) та № 94 (с. Крамаренки) мінералізація підземних вод відповідно становить 1,19 г/дм³, 1,51г/дм³ і 3,17 г/дм³. При цьому в колодязях сс. Крамаренки та Бондарі – змінюється в межах 1,79 – 1,83 г/дм³. Максимальна мінералізація 2,97 - 3,17 - 3,23г/дм³ зафіксована в свердловинах № 37а (2,97 г/дм³), № 94 (3,17 г/дм³) і № 11 (3,23 г/дм³) (табл. 3, рис. 3г), які знаходяться в межах розвантаження високомінералізованих вод тріасового водоносного горизонту.

Слід зазначити, що в порівнянні з березнем 2025 р., у червні 2025 р. мозаїка розповсюдження підземних вод з мінералізацією 0,5 - 1,0 г/дм³, 1,0 - 1,5 г/дм³, 1,5 - 2,0 г/дм³, 2,0 - 3,0 г/дм³ і більше 3,0 г/дм³, практично не змінилася.

Звертає на себе увагу, що впродовж гідрологічного року мінералізація підземних вод в **березні** та в **червні** 2025 р. на території моніторингових досліджень в ряді свердловин, розташованих на захід від ставка-випаровувача (№№ 3б; 4а, в; 7; 8; 10а, б; 15а; 16б; 37б; 57а; 91а; 94б, 95б), має незначно, але нижчі показники ніж в період осінньо-зимової межні 2024 р.

Як свідчать результати досліджень, мінералізація ґрунтових вод у верхній частині водоносного алювіального горизонту (свердловини з індексом **(а)**), здебільшого, значно менша, чим на більш глибоких рівнях (свердловини з індексами **(б)** і **(в)**) (табл. 3). Це пояснюється розвантаженням солоних вод тріасу у вигляді локальних ділянок майже по всій території в заплаві р. Псел. При цьому відбувається диференціація солевмісту по глибині водоносного горизонту в результаті опріснення мінералізованої води в верхньому шарі, за рахунок надходження річкової води у

період танення снігу, розбавлення талими водами, а також атмосферними опадами весною та влітку. Мінералізація в цих умовах становить здебільшого від менше 0,5 г/дм³ до 1,0-1,5 г/дм³, що відповідає нормативним вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [10].

Така закономірність не простежується для свердловин які розміщені в заплаві р. Псел (в межах стариці): №№ 15а,б (в вересні), 16а,б (в березні, червні), 37а,б; 91а,в (в вересні), 94а,б,в (крім березня); 95а,б,в (в березні). В наведеному переліку в свердловинах з індексом (а) зафіксована мінералізація підземних вод в 2 – 4 рази вища, ніж в свердловинах з індексами (б) і (в) (табл. 3). Верхній шар води при цьому знаходиться під впливом випаровування в період осінньої і літньої межени, та засолення в період весняного повіддя. Останнє створює умови для накопичення солей в ґрунтових водах заплави р. Псел, за рахунок підпору потоку засолених підземних вод на території, яка знаходиться в межах переміщення лінії берегового регулювання. Нижній шар водоносного горизонту ґрунтових вод знаходиться під впливом прісної води підруслового потоку р. Псел.

Зокрема, в свердловині з індексом (б) - № 37б мінералізація води становила: у вересні 0,74 г/дм³, у березні – 0,64 г/дм³, у червні – 0,70 г/дм³, а в свердловині 37а - 3,23 г/дм³, 2,99 г/дм³ і 2,97 г/дм³ відповідно. Подібна диференціація солевмісту в підземних водах спостерігається і в свердловинах № 94а,б,в (табл. 3).

Резюме. В цілому, аналізуючи мозаїчне поширення ґрунтових вод з різною мінералізацією по території моніторингових досліджень, слід відзначити, що, порівняно з минулим часом, на всій території відбулося значне зниження мінералізації підземних вод. Переважні показники солевмісту в підземних водах складають 0,5-1,5 г/дм³ та 1,0-2,0 г/дм³. Лише в одиночних свердловинах простежується мінералізація води від 2,0-3,0 г/дм³ і більше. Результати моніторингових досліджень 2024-2025 рр. не дозволяють вважати ставок-випаровувач КНПЗ джерелом впливу на формування солевмісту підземних (ґрунтових) вод в районі його розміщення.

3. Зміна в часі мінералізації підземних вод у районі розташування ставка-випаровувача КНПЗ (2016–2025 рр.)

Особливості формування ореолу забруднення підземних вод з 1957 р. по 2014 р. Формування області підвищеної мінералізації підземних вод до 2014 р. пояснюється активним синергетичним ефектом – впливом трьох основних режимоутворюючих природно-техногенних факторів: 1 – фізико-географічного, 2 – гідрогеологічного та 3 – техногенного.

1. На конфігурацію зони мінералізованих ґрунтових вод істотний вплив має дренавання їх р. Псел. На формування солевмісту в підземних водах – особливості Лісостепової біокліматичної зони (перевищення величини випаровування над кількістю атмосферних опадів).

2. Істотний вплив на формування хімічного складу підземних вод у межах зазначеної зони - має висхідна фільтрація через гідрогеологічні «вікна» аномального вмісту солей в підземних водах нижчезалягаючих водоносних горизонтів (рис. 1). Ставок-випаровувач знаходиться в зоні природного аномально високого вмісту солей у підземних водах. В озері Вільне, що раніше існувало на місці ставка-випаровувача КНПЗ, мінералізація досягала 13-18,8 г/дм³. В районі його розташування простежувалося мозаїчне поширення ділянок підземних вод, мінералізація яких досягала від 3,0-7,0 г/дм³ до 9-10 г/дм³.

3. У початковий період експлуатації ставка-випаровувача (в 70-ті роки), при скиданні високомінералізованих (до 10,0 г/дм³) стічних вод, відбувався розвиток осередку та області (ореолу) високої мінералізації підземних вод (до 5,0-10 г/дм³) переважно у напрямку природного потоку ґрунтових вод (з північного сходу на захід і південний захід) у бік місцевих (р. Псел і р. Рудька) та регіональних (р. Дніпро) базисів розвантаження з урахуванням локального радіального напрямку потоку в зоні підпірної фільтрації зі ставка-випаровувача.

За даними гідрохімічних досліджень, виконаних до 2014 року [3, 4], було встановлено, що область підвищеної мінералізації (від 2,0 - 3,0 г/дм³ до 9,4-9,9г/дм³) була сконцентрована навколо ставка-випаровувача у напрямку радіального потоку стічних вод зі ставка-випаровувача. Як наслідок – ореол забруднення поширювався і в північно-східному напрямку – у бік с. Бондарі, залучаючи до зони впливу ставка-випаровувача колодязі №№ 1, 2 і 3 (1,8-2,3г/дм³), свердловини № 41 (2,2–2,3 г/дм³), і свердловини № 40 (від 1,7 до 3,3г/дм³).

Радіальний напрямок та інтенсивність фільтраційного потоку стічних вод (фільтраційних втрат) зі ставка-випаровувача відігравали значну роль у формуванні конфігурації ореолу забруднення підземних вод. Під впливом природного потоку підземних вод до р. Псел, спрямованого з північного сходу на південний захід, у радіальному потоці стічних вод зі ставка-випаровувача, лінії току в районі с. Бондарі, повертали в бік р. Псел.

Західна межа ореолу забруднення під впливом підпору прируслового потоку річки р. Псел, витіснялася у бік ставка-випаровувача, розширюючись на межі лінії берегового регулювання у північному (с. Крамаренки) та південному (с.с.Кузьменки

та Кияшки) напрямках. При цьому, хімічному забрудненню піддавалися й ґрунтові води в колодязях с. Крамаренки (до 2,2–4,3 г/дм³), які і в природному стані відрізнялися підвищеною мінералізацією.

По мірі зменшення солевмісту в стічних водах, що скидалися у ставок-випаровувач, до 4,1 г/дм³ та збільшення їхнього обсягу, в залежності від підйому рівня води у ставку, збільшувалися фільтраційні втрати. В результаті відбулося розсолення підземних вод в межах сформованого ореолу високого солевмісту до 2,0–5,0 г/дм³ [1, 2].

Після зміни режиму експлуатації ставка-випаровувача в 2014 р., у зв'язку з відсутністю стічних вод в ньому та відсутністю фільтраційних втрат, в період досліджень 2016–2025 рр., замість ореолу підвищеної мінералізації підземних вод, що існував у попередні роки, простежуються від двох до трьох-чотирьох локальних ділянок, у межах яких мінералізація досягає 2,0– 5,0 г/дм³ (рис. 3).

Порівняльний аналіз зміни мінералізації підземних вод за період 2016-2025 рр. Показники мінералізації для різних сезонних періодів (літньої і осінньої межени та весняного повіддя) приведені в таблицях 4, 5. Розглянемо характеристики зміни в часі мінералізації підземних вод на період *осінньої межени* (вересень) 2016 р., 2019 р., та 2021-2025 років) (табл. 4).

Таблиця 4 – Зміна в часі мінералізації підземних вод в період осінньої межени 2016-2025рр.

№ свер.	Вересень 2016 р.	Вересень 2019 р.	Вересень 2021 р.	Вересень 2022 р.	Вересень 2023 р.	Вересень 2024 р.	Вересень 2025 р.
	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³
3 а	0,5	1,5	0,32	0,34	0,35	0,50	0,54
3б	-	-	0,54	0,50	0,47	0,58	0,58
3в	-	-	2,26	1,92	1,65	3,06	2,82
4 а	0,5	3,1	0,59	0,59	0,56	0,53	0,52
4 б	-	-	0,6	0,63	0,59	0,56	0,56
4 в	-	-	2,47	2,04	2,00	2,34	2,17
5 а	3,0	1,0	1,28	1,26	1,17	1,82	1,71
6	2,1	0,8	0,68	-	0,60	1,98	1,79
7	1,9	1,9	1,97	1,85	1,76	2,00	1,90
8	0,9	0,7	0,42	0,49	0,41	2,04	1,92
9	5,4	1,9	1,96	-	-	-	
10 а	0,6	0,3	0,38	0,41	0,38	1,82	1,72
10б	-	-	3,87	3,80	3,67	-	3,22
11	-	1,0	3,54	-	3,93	1,97	1,87
15а	0,8	0,8	0,63	-	0,58	1,13	1,04
15б	-	-	0,58	-	0,78	0,54	0,54
16а	2,1	0,3	-	1,44	1,29	-	1,00
16 б	-	-	1,35	1,33	1,21	2,26	2,16

36	1,8	0,8	0,78	0,74	0,68	1,47	1,46
37a	2,6	2,8	-	-	2,10	3,23	3,29
37б	-	-	-	-	2,26	0,74	0,66
38a	1,1	0,9	0,67	-	-	-	-
38б	-	-	1,47	-	-	-	-
42	1,6	-					-
55	1,2	-	0,81	-	0,58	-	-
57a	1,1	0,9	0,82	0,76	0,75	0,60	0,66
58	2,7	-					
81	2,6	2,5	1,85	1,61	1,50	2,52	2,34
91a	0,4	0,5	0,39	-	0,50	1,89	1,94
91в	-	-	0,64	-	0,49	1,59	1,49
92	-	0,6	-	2,78	2,44	0,54	0,54
93 а	0,5	0,4	1,43	1,33	1,23	1,80	1,62
93 б	-	-	2,20	1,95	1,88	1,69	1,45
93 в	-	-	2,63	2,44	2,22	1,96	2,00
94 а	0,6	0,7	3,83	3,74	3,60	2,70	2,66
94 б	-	-	0,51	0,55	0,51	0,62	0,62
94 в	-	-	1,47	1,43	1,39	1,16	1,04
95a	1,8	-	0,78	-	0,66	0,46	0,43
95б	-	-	1,48	-	1,13	1,19	1,05
95в	-	-	1,49	-	1,49	1,29	1,28
107	1,5	0,7	0,44	-	0,29	1,89	1,70

При порівнянні даних розподілу солемісту в підземних водах на протязі зазначеного періоду - простежуються значні відмінності в залежності від глибини та просторового розміщення свердловин. В часовому розподілі мінералізації підземних вод за 2016–2025 рр. у свердловинах з індексом (а) спостерігається як збільшення на 0,4-1,5-2,0-3,4 г/дм³, так і зменшення на 0,6-1,5-3,5 г/дм³ мінералізації. Причому, в більшості випадків переважає незначне підвищення (зменшення) мінералізації в межах 0,2-0,6 г/дм³. Якщо в перші роки після зупинки скиду стічних вод в ставок-випаровувач (осіння межень 2016 р., 2019 р., 2020 р. - спостерігалось збільшення частот випадків високої мінералізації, то в період 2021-2023 рр. навпроти, відбувається їх зменшення.

При цьому, в 2024 р. та 2025 р. відбувається підвищення мінералізації в більшості свердловин з індексом (а) на 0,2-0,4 г/дм³ – 1,1-3,4 г/дм³. Максимальне підвищення спостерігалось в свердловинах №№ 11, 92, 94а і складало відповідно 2,9 г/дм³, 2,2 г/дм³ та 3,4 г/дм³. В свердловинах з індексом (б) мінералізація підземних вод за період 2016-2025рр. практично незмінна. Лише в свердловині №16б мінералізація води збільшилася з 1,21-1,35 г/дм³ (2021-2023 рр.) до 2,26 г/дм³ і 2,16 г/дм³ відповідно в 2024 р. і 2025 р. У свердловинах з індексом (в) показники

солевмісту відносно високі знаходяться в межах 1,5-2,82-3,06 г/дм³) і практично незмінні в часі.

Зміна режиму ставка-випаровувача не лише позначилась на зниженні мінералізації підземних вод, але і призвела до зменшення числа випадків її високих показників. Особливо це характерно для періоду *літньої межени* (табл. 5).

В більшості свердловин з індексом (а) за період літньої межени 2017 - 2025рр. відбулося зменшення мінералізації води на 0,3-1,1 г/дм³ - 1,4-2,4 г/дм³. Лише в свердловинах №№11 і 92 зафіксовано збільшення мінералізації на 2,1-2,7г/дм³ і на 1.2-1.9 г/дм³ відповідно.

В свердловинах з індексом (б) мінералізація підземних вод за період літньої межени 2016-2025рр. практично незмінна в часі, за виключенням свердловин №№106, 376, 936, в яких з 2017 р. відбулося зменшення солевмісту. В свердловині №106 – з 4,01 г/дм³ до 1,4 г/дм³ в 2024 р. і до 3,16 г/дм³ – в 2025 р. Значне зменшення мінералізації з 2,55 г/дм³ в 2017 р. до 0,70 г/дм³ в 2025 р. простежується в свердловині №37 б. В свердловині № 936 мінералізація води зменшилася з 2,12 г/дм³ (2022 р.) до 1,51 г/дм³ в 2025 р.

В свердловинах з індексом (в) показники солевмісту практично незмінні в часі, їх мінералізація на протязі досліджень збільшувалася або зменшувалася з 2022-2025 рр. на 0,34 – 0,64 г/дм³. Лише в свердловині № 3в в 2024 р. на фоні показників 1,02 - 1,48 г/дм³ мінералізація зросла 4,0 г/дм³. (табл. 5)

Таблиця 5 – Мінералізація підземних вод у районі розташування ставка-випаровувача в період літньої межени 2016-2025 рр.

№ свер.	Червень 2017 р.	Червень 2020 р.	Червень 2022 р.	Червень 2023 р.	Червень 2024 р.	Червень 2025 р.
	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³	г/дм ³
3 а	0,5	1,7	0,48	0,44	0,45	0,50
3б	-	-	0,47	0,42	0,43	0,44
3в	-	-	1,48	1,02	4,00	1,12
4 а	0,3	0,4	0,61	0,54	0,56	0,58
4 б	-	-	0,57	0,54	0,53	0,57
4 в	-	-	1,92	1,51	1,65	1,30
5 а	2,6	1,2	1,12	1,11	1,05	0,91
6	2,6	1,1	0,64	0,58	0,58	1,90
7	2,0	1,9	1,57	1,65	1,53	1,51
8	0,9	0,9	0,76	0,63	0,66	0,55
9	1,4	1,9	1,69	-	-	1,84
10 а	0,5	0,4	0,39	-	2,20	0,33
10б	-	-	4,01	-	1,46	3,16
11	1,1	1,1	3,81	3,53	3,53	3,23
15а	1,0	0,8	0,58	0,50	0,49	0,46

156	-	-	0,91	0,69	0,67	0,77
16a	2,2	1,5	1,40	1,26	1,25	1,19
16 б	-	-	1,29	1,13	1,09	1,04
36	1,4	1,0	0,82	0,78	0,76	0,83
37a	4,5	3,5	2,54	2,37	2,34	2,97
37б	-	-	2,55	2,32	2,39	0,70
38a	1,0	1,0	-	-	-	-
38б	-	-	-	-	-	-
42	1,6	-	-	-	-	-
55	1,4	1,1	0,65	-	-	-
57a	1,1	0,9	1,05	0,82	0,81	0,77
58	3,4	1,4				
81	3,4	2,8	1,62	1,60	1,56	1,31
91a	0,4	0,5	0,50	0,53	0,52	0,55
91в	-	-	0,69	0,59	0,60	0,69
92	0,7	0,7	2,59	2,15	2,08	1,88
93 а	3,4	1,4	1,23	1,13	1,02	1,00
93 б	-	-	2,12	1,75	1,68	1,51
93 в	-	-	2,29	2,12	2,05	1,95
94 а	4,3	1,1	3,51	3,17	3,11	3,17
94 б	-	-	0,54	0,47	0,47	0,52
94 в	-	-	0,99	0,80	0,76	0,82
95a	2,9	2,3	0,71	0,75	0,71	0,68
95б	-	-	1,30	1,13	1,12	1,02
95в	-	-	1,87	1,54	1,45	1,25
107	2,5	0,4	0,38	0,40	-	1,75

Для періоду 2017 – 2020 рр. (початковий період після зміни режиму ставка-випаровувача) характерним є майже дзеркальний сезонний хід частот випадків низьких і високих показників мінералізації підземних вод в періоди осінньої та літньої межени. Відзначається якісна подібність динаміки високої мінералізації.

В цілому, після 2014 р., основні кількісні показники мінералізації підземних вод в 1,5 – 2, та зрідка більше ніж в 3-и рази зменшують відповідні характеристики протягом 2016-2025 років.

Для періоду *весняного повіддя 2023-2025 рр.* характерним є мінімальне число аномальних змін мінералізації. Спостерігалось збільшення мінералізації в свердловинах №№ 6, 37а, 95а, 107 відповідно на 1,26 г/дм³; 0,65 г/дм³; 0,9 г/дм³ та 1,4 г/дм³ і зменшення на 0,6 г/дм³ в свердловині №10б та на 1,3 г/дм³ в свердловині №94а.

Крім особливостей зміни мінералізації, характерних для сезонів року, виділяється також ряд особливостей, які є загальними для всього періоду досліджень, а саме: 1) чітко простежується описана вище зміна солевмісту підземних

вод в зоні впливу ставка-випаровувача; 2) в умовах зміни режиму ставка-випаровувача, загальна конфігурація ореолу підвищеної мінералізації, а також її зміни в часі практично не відрізняються, мають схожість (подібні) між собою. Це свідчить про те, що в період 2016-2025 рр. (після зміни режиму ставка-випаровувача), просторово-часовий характер збільшення або зменшення мінералізації ґрунтових вод обумовлений значним зростанням ролі природних факторів.

Узагальнення одержаних результатів та їх графічна інтерпретація (картування) дозволили виявити на прилеглої до ставка-випаровувача території наявність ділянок ґрунтових вод різної мінералізації (рис. 3). Згідно з класифікацією, вони відносяться: до класу *прісних вод* (0,2-1,0 г/дм³); до класу *солонуватих вод* (1,0-3,0 г/дм³) і до класу *сильно солонуватих вод* (3,0-10 г/дм³). Це важливо, оскільки дозволяє визначити особливості їх використання місцевим населенням для вирішення господарських потреб.

Обговорення результатів. Проведений аналіз моніторингової інформації свідчить, що вплив ставка-випаровувача КНПЗ на мінералізацію ґрунтових вод на протязі 2024-2025 років не простежується. Встановлені особливості формування солевмісту (мінералізації) підземних вод свідчать про перевагу впливу природних (геологічних та кліматичних) факторів.

Слід зазначити, що раніше, в непорушених умовах (станом на 1957 р.), на цій території підземні води на численних локальних ділянках характеризувалися мінералізацією від 2,0 – 3,0 г/дм³ до 5,0 – 9,0 г/дм³, за рахунок розвантаження тріасових солоних вод. Зменшення в 2016-2025 рр. мінералізації ґрунтових вод в умовах реорієнтації гідродинамічної активності (як результат відсутності фільтрації стічних вод зі ставка-випаровувача - може бути пояснене впливом Біланівського залізорудного кар'єру, розташованого на відстані близько 0,6 км від ставка-випаровувача. Можливо, що підземні води тріасу частково перехоплюються осушним дренажем кар'єру і високомінералізовані води тріасу, в повному об'ємі, не надходять у верхні шари ґрунтового четвертинного водоносного горизонту. Це питання потребує уточнення і проведення окремих еколого-гідрогеологічних досліджень.

Практичне використання результатів. Порівняльний аналіз та оцінка зміни розглянутих показників мінералізації підземних во - свідчать про правомірність їх використання при вирішенні екологічних питань, пов'язаних з визначенням режиму подальшого функціонування ставка-випаровувача у технологічному процесі

нафтопереробки. При цьому використання одержаних результатів дозволить забезпечити належну організацію діяльності у сфері інженерного захисту території.

Висновки

1. Результати проведеного аналізу моніторингової інформації дозволили:

- визначити основні фактори впливу на формування хімічного складу ґрунтових вод на території, прилеглої до ставка-випаровувача КНПЗ;

- відокремити особливості впливу гідравлічного взаємозв'язку водоносних горизонтів на формування хімічного складу ґрунтових та поверхневих вод;

- виділити зони максимального ризику розвантаження вод високого солевмісту.

2. В даній роботі вперше за роки функціонування ставка-випаровувача в складній геотехногенній системі встановлена роль природних факторів у формуванні сольового складу підземних вод.

3. Результати досліджень можуть слугувати вихідними даними при розробленні планів управління річковим басейном у відповідності до пункту 2 частини другої статті 132 Водного кодексу України, та пункту 6 Постанови Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 р. № 336.

Література

1. Маркина Я.С., Демехин Г.А. Использование математического моделирования геофильтрации для обоснования водоохраных мероприятий. *Проблемы создания новых машин и технологий*, Кременчуг, 1997.
2. Маркина Н.К., Маркина Я.С., Захарченко М.А. Результаты реализации водоохраных мероприятий в районе размещения пруда-испарителя КНПЗ. *Проблемы создания новых машин и технологий*, Кременчуг, 1997.
3. Маркина Н.К., Бабаев М.В., Маркина Я.С. Эффективность мероприятий по оздоровлению экологической ситуации в районе пруда-испарителя КНПЗ. *Вісник Українського дому економічних та науково-технічних знань*, Київ, 1998.
4. Маркина Я.С., Маркина Н.К., Беседин Н.В. Переориентация стратегии экологического мониторинга в связи с реализацией единой управляющей водоохранной системы. *Захист довкілля*, 2002. С. 3 – 7.
5. Маркина Я.С., Маркина Н.К., Билицкая Я.В. Экологическая оценка эффективности мероприятий по снижению загрязнения подземных вод в районе воздействия Кременчугского нефтеперерабатывающего завода. *Проблемы охраны окружающей природной среды и экологической безопасности*. 2005. № 27. С. 141–149.

6. Маркина Я.С., Маркина Н.К., Билицкая Я.В. Экологическая оценка эффективности мероприятий по снижению загрязнения подземных вод в районе воздействия Кременчугского нефтеперерабатывающего завода. *Проблемы охраны окружающей природной среды и экологической безопасности*. 2006. № 28. С. 27 – 32.
7. Маркина Н.К., Горишнякова Я.В., Пилипенко Л.В., Сидельник О.С., Петік В.О. Наукове обґрунтування умов реалізації водоохоронних заходів при забрудненні водного середовища рідкими та розчиненими нафтопродуктами *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*, 2022. № 44. С. 110–120.
8. Маркіна Н.К., Пилипенко Л.В., Мар'єнко О.С. Еколого-гідрохімічна оцінка стану підземних вод у зоні впливу ставка-випаровувача Кременчуцького нафтопереробного заводу. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. пр. / УКРНДІЕП. Харків, 2025. № 46. С. 146 – 158. URL: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik_2024_all.pdf
9. Бабинец А.Е., Белявский Г.А. Естественные ресурсы подземных вод интенсивного водообмена Украины (на основе анализа подземного стока). Киев : Наукова думка, 1973. 111 с.
10. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : наказ Міністерства охорони здоров'я України № 400. URL: <https://web.archive.org/web/20240501195203/https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 05.04.2026).

References

1. Markina Ya.S., Demekhin G.A. *Ispolzovanie matematicheskogo modelirovaniya geofiltratsii dlya obosnovaniya vodookhrannykh meropriyatiy. Problemy sozdaniya novykh mashin i tekhnologiy, Kremenchug, 1997.*
2. Markina N.K., Markina Ya.S., Zakharchenko M.A. *Rezultaty realizatsii vodookhrannykh meropriyatiy v rayone razmeshcheniya pruda-isparitelya KNPZ. Problemy sozdaniya novykh mashin i tekhnologiy, Kremenchug, 1997.*
3. Markina N.K., Babaev M.V., Markina Ya.S. *Effektivnost meropriyatiy po ozdorovleniyu ekologicheskoy situatsii v rayone pruda-isparitelya KNPZ. Visnyk Ukrainskoho domu ekonomichnykh ta naukovo-tekhnichnykh znan, Kyiv, 1998.*
4. Markina Ya.S., Markina N.K., Besedin N.V. *Pereorientatsiya strategii ekologicheskogo monitoringa v svyazi s realizatsiey edinoi upravlyayushchey vodookhrannoy sistemy. Zakhyst dovkillia, 2002. S. 3 – 7.*

5. Markina Ya.S., Markina N.K., Bilitskaya Ya.V. *Ekologicheskaya otsenka effektivnosti meropriyatiy po snizheniyu zagryazneniya podzemnykh vod v rayone vozdeystviya Kremenchugskogo neftepererabatyvayushchego zavoda. Problemy okhrany okruzhayushchey prirodnoy sredy i ekologicheskoy bezopasnosti.* 2005. № 27. S. 141–149.
6. Markina Ya.S., Markina N.K., Bilitskaya Ya.V. *Ekologicheskaya otsenka effektivnosti meropriyatiy po snizheniyu zagryazneniya podzemnykh vod v rayone vozdeystviya Kremenchugskogo neftepererabatyvayushchego zavoda. Problemy okhrany okruzhayushchey prirodnoy sredy i ekologicheskoy bezopasnosti.* 2006. № 28. S. 27 – 32.
7. Markina N.K., Gorishnyakova Ya.V., Pilipenko L.V., Sidelnik O.S., Petik V.O. *Naukove obhruntuvannia umov realizatsii vodoookhoronnykh zakhodiv pry zabrudnenni vodnoho seredovyscha ridkymy ta rozchynenymy naftoproduktamy. Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ekolohichnoi bezpeky,* 2022. № 44. S. 110–120.
8. Markina N.K., Pylypenko L.V., Marienko O.S. *Ekoloho-hidrokhimichna otsinka stanu pidzemnykh vod u zoni vplyvu stavka-vyparovuvacha Kremenchutskoho naftopererobnoho zavodu. Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ekolohichnoi bezpeky: zb. nauk. pr. / UKRNDIEP. Kharkiv, 2025. № 46. S. 146 – 158. URL: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik_2024_all.pdf*
9. Babinets A.E., Belyavskiy G.A. *Estestvennye resursy podzemnykh vod intensivnogo vodoobmena Ukrainy (na osnove analiza podzemnogo stoka).* Kiev: Naukova dumka, 1973. 111 s.
10. *Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu» (DSanPiN 2.2.4-171-10): nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ia Ukrainy № 400. URL: <https://web.archive.org/web/20240501195203/https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (data zvernennia: 05.04.2026).*

Відомості про авторів / About the Authors

Маркіна Надія Кузьмівна – старший науковий співробітник, завідувачка лабораторією екологічної гідрогеології та оцінки екологічного стану територій. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; Orcid: <http://orcid.org/0009-0001-2834-9111>
тел.: +38(057)702-15-89, e-mail: nkmarkina2@gmail.com

Markina Nadiya Kuz'mivna – Senior Researcher, Head of the laboratory of ecological hydrogeology and assessment of the ecological status of territories. Research institution «Ukrainian Research Institute for Environmental Problems». Senior Researcher, Kharkiv, Orcid: <http://orcid.org/0009-0001-2834-9111>, phone: +38(057)702-15-89, e-mail: nkmarkina2@gmail.com.

Горишнякова Яна Вікторівна – науковий співробітник, аспірантка. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7468-8301>, тел: (066) 139-20-15 e-mail: yanagorish@ukr.net.

Horyshnyakova Yana Viktorivna – Scientific Research, postgraduate, Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems», USRIEP. Kharkiv; Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7468-8301>, phone: (066) 139-20-15, e-mail: yanagorish@ukr.net.

Пилипенко Лариса Вікторівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-1968-2219>, тел.: (057)702-15-89, e-mail: pilipenko@niiep.kharkov.ua.

Pylypenko Larysa Viktorivna – Researcher. Scientific Research Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems», USRIEP. Kharkiv; Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-1968-2219>, phone: (057)702-15-89, e-mail: pilipenko@niiep.kharkov.ua.

Мар'єнко Олеся Сергіївна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2760-9620> тел.: (057)702-15-89, e-mail: ekohydro@ukr.net

Mar'ienko Olesya Serhiyivna – Researcher. Scientific Research Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems», USRIEP. Kharkiv; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2760-9620>, phone: (057)702- 15-89, e-mail: ekohydro@ukr.net

H. V. KHABAROVA, G. D. KOVALENKO, S. V. BARBASHEV

REMOTE MONITORING OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION: EXISTING APPROACHES TO APPLICATION AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION IN UKRAINE

An analysis of the use of modern approaches to the application of remote sensing methods in Ukraine for assessing atmospheric air pollution by radioactive and chemical substances has been carried out. An assessment of the effectiveness of the use of algorithms for determining the spatial distribution of pollutants in atmospheric air according to international approaches has been presented. A review of existing approaches, taking into account the international recommendations of the WHO and the IAEA on the organisation of air pollution monitoring, has enabled the identification of a list of air pollutants that can be monitored using remote sensing techniques. Proposals have been put forward to improve the existing monitoring system in Ukraine. These proposals are based on the adoption of a comprehensive approach that combines various methods, technologies and intelligent systems, with a focus on developing proprietary algorithms and adapting models for assessing and forecasting atmospheric air quality. It is proposed that modern digital databases be created for Ukraine by utilizing international databases and platforms that already contain aggregated environmental data obtained through remote sensing and satellite technologies, including the use of artificial intelligence. The implementation of the comprehensive approach proposed by the authors will result in the establishment of dedicated databases and platforms for monitoring air quality, featuring verified data, which will enable the interactive mapping of Ukraine's territory with regard to priority air pollutants.

Keywords: remote sensing, satellite technology, international platforms, monitoring, atmospheric air.

Introduction. The report on air quality and climate, published in September 2025 by the World Meteorological Organisation (WMO) [1] and our own preliminary research on the situation in Ukraine [2–6] show that, at present, the primary focus is on satellite technologies, which provide vital environmental data to complement ground-based monitoring networks.

In this context, the use of remote sensing methods and satellite technologies to study chemical and radioactive substances in the atmosphere, their dynamics over a long-term period and the forecasting of potential consequences of environmental threats to mitigate the ecological risks caused by the Russian Federation's armed aggression against Ukraine is a priority area in accordance with the Ukraine Recovery Plan [7].

The use of modern tools, such as remote sensing methods and satellite technologies, at the national level as part of the reform and development of environmental policy to assess trends in chemical and radioactive pollution over a long period and to forecast air quality will enable us to identify changes in the state of the environment and reduce environmental risks caused by anthropogenic pressures and the consequences of the aggressor state's military actions against Ukraine.

Review of previous studies. This scientific study builds on the authors' previous series of works in the field of radioecological safety and radiation monitoring [8–15], particularly regarding the monitoring and assessment of the impact of atmospheric pollutants and the prediction of their concentrations, and supplements these with the findings of their latest research, which involves the use of remote monitoring methods [2–6].

In previous published works [16], the authors of this study developed and implemented the first state-run automated early warning systems for radiation accidents: 'Gamma-1' and 'Gamma-2' across Ukraine; and, based on the experience gained, carried out modelling and forecasting of the impact of nuclear power plants and thermal power plants on the environment, including in a transboundary context, the results of which have been published in scientific reports, monographs, scientific papers and proceedings of international scientific and practical conferences [8–17].

The purpose of this scientific research is to provide state authorities with the results of monitoring atmospheric air pollution by chemical and radioactive substances using remote sensing methods under martial law in Ukraine and post-war and post-war reconstruction of Ukraine, which will allow making decisions on environmental management.

Justification of the scientific findings. In this scientific study, the authors used a thorough analysis of remote sensing methods and satellite technologies as advanced and innovative tools for the operational assessment of the impact of pollutants in atmospheric air and their forecasting, including in a transboundary context across the world and in Ukraine [2 - 6].

An analysis of available sources and open international platforms has shown that remote monitoring of ambient air quality in EU countries is carried out using a high-tech, transparent and scientifically sound system that combines satellites, ground-based stations, forecasting models and public initiatives. This system serves as a benchmark for other countries, particularly for Ukraine, which is seeking to harmonise its system in accordance with EU standards. An important step for Ukraine in this direction will be the implementation of the EU Directives [18], followed by the development of an implementation mechanism at the national level, the creation of a roadmap for providing environmental data via the EIONET platform [19] to the EEA [20], and the adaptation of the model, drawing on international programmes and platforms such as: the EU Copernicus Programme [20] and the European Space Agency (ESA) [21], which includes the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) [22] modelling and forecasting system, providing: 96-hour air quality forecasts; transient pollution dispersion maps and data from the Sentinel [23] and NASA Terra [24] satellites for the purpose of studying the Earth's surface and atmosphere, measuring aerosols and pollutants, cloud cover, and solar reflectance (albedo); and investigating the impact of human activity on the climate. It is important to note that, within the EU, all environmental data collected is integrated with satellite and ground-based observations.

The parameters measured by satellites and presented in Table 1.

Table 1 – Types of parameters measured by satellite platforms

Substances being measured	Systems that register them	Emission sources
NO ₂	Sentinel-5P, Aura (OMI)	Transport, industry
SO ₂	Sentinel-5P, Aura	Thermal power plants, volcanoes, metallurgy
CO	Terra, Aura, Sentinel-5P	Fires, engines
CH ₄	GOSAT, Sentinel-5P	Oil production, agricultural sector
Ozone (O ₃)	Aura, TROPOMI, GOME-2	Photochemical pollution
Aerosols (PM)	MODIS, VIIRS	Smoke, dust, industrial emissions

It should be noted that environmental data obtained from satellites are used by national authorities to assess air quality in urban and rural areas, identify sources of pollution at industrial sites and in the event of fires, develop climate models, forecast impacts on public health, and monitor compliance with national legislation.

The advantages and disadvantages of remote monitoring and satellite technologies in assessing air quality sets out in Table 2

Table 2 – Advantages and disadvantages of remote monitoring and satellite technologies

Advantages	Disadvantages
Global coverage: contains data from across the planet, including remote and poorly studied regions	Weather conditions: in case of cloudiness, image quality in the optical range decreases
Regular updates on daily observations	Limited vertical resolution: data is presented as an average over the atmospheric layer
High compatibility with digital GIS and artificial intelligence models	The need for validation through ground stations
Open access to most data through Copernicus and NASA	High startup and maintenance costs

In light of the above arguments, satellite technology is a critically important tool for monitoring air quality, particularly in the context of global climate change, industrialisation and frequent man-made accidents, and especially during military operations. It enables environmental information to be integrated into decision-making processes at both national and international levels.

An analysis of existing approaches to organising and conducting remote monitoring of air pollution has shown that Ukraine also has government, public and satellite-based initiatives. By the end of 2025, Ukraine had already begun a gradual transition from the use of a traditional network of fixed monitoring stations to more modern and automated systems incorporating remote monitoring and data transmission to the relevant authorities, in accordance with European requirements [25].

The key components of atmospheric air monitoring systems are the national monitoring system with ground-based observation stations, satellite-based modelling, public monitoring and IoT monitoring, in which data from sensors measuring temperature, humidity, dust, noise and CO₂ is automatically transmitted to the Internet to enable further remote monitoring, analysis and control of processes. The most common use of UAVs in Ukraine is for detecting chemical and radiological threats, particularly during military operations and emergencies at nuclear fuel cycle facilities [26] and for monitoring the radiation situation in areas affected by radiation sources, which enables the detection of both point and distributed sources of radioactive contamination in real-world conditions [27] and is represented by developments from the National Academy of Sciences of Ukraine and the National Space Facilities Control and Test Centre.

It should be noted that Ukraine lacks a specific law or regulatory document governing the organisation of remote monitoring of atmospheric air for radioactive and chemical substances; consequently, the operation of this process falls under the general

requirements for state environmental monitoring. It is important to consider the use of all remote methods, including satellite monitoring, UAVs equipped with sensors, and laser measurement systems, as tools to enhance the efficiency and accuracy of monitoring in Ukraine.

It should be noted that legislative changes began to take effect with the adoption of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 25, 2025 No. 1181 “On Approval of the Procedure for Transferring the Results of Emission Monitoring in Real Time” [28] and the establishment by this Procedure of the process for the operator of a facility to transmit, in real time, emission monitoring results obtained using automated measurement systems, to the Ministry of Economy, Environment and Agriculture of Ukraine and the State Environmental Inspectorate, which will enable the standardisation of monitoring data at the national level and a timely response to changes in atmospheric air quality with a view to preventing adverse changes and threats caused by excessive concentrations of hazardous pollutants in atmospheric air.

Ukrainian legislation requires the establishment of automated monitoring stations and the transmission of measurement data in real time to the relevant central authorities. Such remote monitoring complies with the principles of the national system for the collection and analysis of air quality data, which is enshrined in the Laws of Ukraine and Resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine.

Currently, during the period of martial law in Ukraine, many automated stations have been damaged and monitoring stations are located in temporarily occupied territories, which is slowing down monitoring activities in terms of remote data collection, including the use of UAVs [26, 27].

Remote monitoring in Ukraine requires a comprehensive approach that combines various methods, technologies and intelligent systems. The integration of ground-based sensors and satellite data will make it possible to generate real-time maps of substance concentrations and predict the spread of pollution in cases where direct measurements of individual harmful substances are impossible [2–6].

Remote sensing techniques are effective for gaseous and aerosol pollutants and are suitable for assessing the potential impact of other chemical substances. Therefore, **studies** of heavy metals and radioactive substances require a combined approach, including the use of satellite data and model-predictive estimates in combination with ground-based measurements.

A comparative analysis of international platforms for the remote monitoring of chemical and radiation components in ambient air, and their characteristics, carried out by

the authors of this study, has enabled the identification of a list of priority air pollutants in Ukraine, in accordance with the Recommendations of the WHO [29] and the IAEA [30] for the purpose of control using remote sensing methods: gaseous substances, including nitrogen dioxide (NO₂), sulphur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), formaldehyde (HCHO); greenhouse gases, including nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂); particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5}; the most toxic metals: lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd) and critical radionuclides: caesium-137, strontium-90, iodine-131, radon-222.

Regarding the approach proposed by the authors, which involves an integrated process of data acquisition, processing and verification with standardisation, it should be noted that the satellite platforms and sensors Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [31], Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) [32], Sentinel-5P [23] and models (CAMS [22], CHIMERE [33]) complement one another, and their integrated use enables:

- the prediction of chemical and radioactive contamination;
- risk assessment to public health;
- the maintenance of an early warning system under martial law.

Conclusions and future research directions. As part of the integration and harmonisation of national legislation with European standards, and taking into account international experience in the application of satellite observation systems, the authors of the study have proposed recommendations for improving the state atmospheric air monitoring system. These recommendations, aimed at obtaining high-quality and accurate environmental data for forecasting atmospheric air quality and informing management decisions in Ukraine's environmental policy, will include the following provisions.

The development of a national monitoring system, alongside the advancement of remote sensing technologies in Ukraine, and the creation and populating of national digital databases in the initial stages using international environmental databases, data obtained through remote sensing and satellite technologies, and the exchange of information with platforms and its standardisation using artificial intelligence.

The integrated use of satellite systems (MODIS [31], VIIRS [32], Sentinel-5P [23]) and models (CAMS [22], CHIMERE [33]) will enable the creation of an effective remote monitoring system for the chemical and radioation components of atmospheric air pollution in Ukraine, which will provide forecasting, the assessment of environmental risks, and support for an early warning system for public health and management decision-making. The choice of a model for remote monitoring of air quality in Ukraine, particularly under

martial law, will depend on several key criteria: the efficiency of forecasts, integration with satellite data, the ability to model both chemical and radiation components, and accessibility to government bodies.

The scientific outcome of implementing the proposed approach at national level will be a conceptual project for the remote monitoring of atmospheric air pollution using verified data, which will ensure the production of representative estimates and reliable forecasts of its condition, as well as the adoption of effective management decisions. Following the coordination and completion of the relevant legislative procedures for the effective organisation, regulation and development of remote monitoring of atmospheric air for radioactive and chemical substances, we propose the drafting of a separate law or regulatory document.

References

1. WMO. *Air Quality and Climate Bulletin No. 5 September 2025*. URL: https://library.wmo.int/viewer/69625/download?file=Air-Quality-and-Climate-Bulletin_5_en.pdf&type=pdf&navigator=1.
2. Vitko V. I., Khabarova H. V. *Otsiniuvannia zabrudnennia atmosferneho povitria radiatsiinymy ta khimichnymy rehovynamy pid chas voiennoho stanu v Ukraini za dopomohoiu dystantsiinoho monitorynhu. Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia. Zb. nauk. st. XX Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 19–20 veresnia 2024 r. Kharkiv: UKRNDIEP, 2024. P. 107–111. URL: http://niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf*.
3. H. Khabarova, G. Kovalenko, S. Barbashev. (2025). *Application of satellite technologies for monitoring the radiation state of the atmospheric air during the war and post-war reconstruction of Ukraine. Problems of Atomic Science and Technology. 2025. 3. P. 194-199. DOI: <https://doi.org/10.46813/2025-157-194>*.
4. Khabarova H., Vitko V. Kovalenko G., Barbashev S. (2025). *The role of modern remote sensing technologies in atmospheric air monitoring under martial law in Ukraine. Proceedings of the XXIII conference on High Energy and Nuclear Physics, April 8–10, 2025. P. 176-179. DOI: <https://doi.org/10.46813/pc-hepnp/2025-176>*.
5. Khabarova H., Kovalenko G., Barbashev S. (2025). *State and prospects of using remote air monitoring methods in Ukraine. Ecological Sciences. 2025. 4(61). P. 92-97. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.4-61.15>*.
6. Khabarova G.V., Kovalenko G.D., Barbashev S.V. (2025) *Remote monitoring of forest fires in wartime conditions in the Kharkiv region. Ecological security: problems and solutions: collection of scientific articles of the XXI International Scientific and Practical Conference, September 25–26, 2025. 388-397. DOI: <http://doi.org/10.63341/niiep.conf.2025.57>*.

7. Ukraine Recovery Plan. URL: <https://ua.urc-international.com/past-conferences/urc22/plan-vidnovlennya-ukrayini>.
8. Kovalenko G.D. (2013). Radioecology of Ukraine. Monograph. 2013. 3rd ed. 344 p.
9. Barbashev S. V., Vitko V. I., Kovalenko G. D. (2015). Automated radiation control systems in the natural environment. Monograph. Odesa. 2015. 132 p.
10. Kovalenko G.D., Khabarova H.V. (2018). Health and environmental impacts of air emissions from coal-fired thermal power plants in Ukraine. Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium. Collective monograph. Vol. 2. 2018. P. 93-110. URL: <https://www.researchgate.net/publication/330926843>.
11. Kovalenko G. D., Vitko V. I., Khabarova G. V. (2019). Transboundary impact of emissions from thermal power plants on the environment and population. Environmental safety and environmental protection technologies. 2019(1). P. 6–13. URL: https://ecocorptzd.com.ua/gallery/%D0%84%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D0%B0_1_2019.pdf.
12. V. I. Vitko, G. D. Kovalenko, H. V. Khabarova, H. B. Varlamov. (2018). Transboundary impact of Ukrainian thermal power plants on atmospheric air quality during coal combustion. Power engineering: economics, technique, ecology. 2018(3). DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2018.164059>.
13. G. Kovalenko, V. Vitko, H. Khabarova. (2019). Poland-Ukraine: transboundary effects of thermal power plant emissions. European journal of technical and natural science. 2019(2). P. 33–36. DOI: <https://doi.org/10.29013/EJTNS-19-2-33-36>.
14. Report on scientific and research work “Assessment of mutual transboundary impact of nuclear power plants of Ukraine and neighbouring countries. UKRNDIEP, 2021. 116 p. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/NDR/2021/Zvit28.2021.pdf>.
15. Vitko V.I., Khabarova G.V. (2025). Assessment of the mutual transboundary impact of nuclear power plants of Ukraine and neighbouring countries. Current problems and innovative technologies in the field of civil protection and environmental safety for the post-war restoration of Ukraine: a collective monograph based on the results of two thematic International Scientific and Practical Conferences, May 28-30 and November 5-7, 2024. 2025. P. 45–53. ISBN 978-617-8739-34-8.
16. Automated system of radiation monitoring and early warning of radiation accidents "Gamma-1" and "Gamma-2": monograph / S. V. Barbashev, V. I. Vitko, V. S. Voloshyn, G. D. Kovalenko. - Kyiv: Osvyta Ukrainy, 2017. - 232 p.
17. Barbashev S. V. (2024). Approaches to building a network of automated radiation monitoring posts in the territory of Ukraine. Problems of Atomic Science and Technology. 2024. 3(151). P. 142–147. DOI: <https://doi.org/10.46813/2024-151-142>.
18. Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (updated). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

content/EN/TXT/?uri=OJ%3AL_202402881.

19. European Environment Information and Observation Network (EIONET). URL: <https://www.eionet.europa.eu>.
20. Program of the European Union. Copernicus. URL: <https://www.copernicus.eu/en>.
21. Environmental Space Agency. Applications. (ESA). URL: <https://www.esa.int/>.
22. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/cams-global-reanalysis/>.
23. Sentinel-5 Precursor, or Sentinel-5P, is the first mission of the European Union's Copernicus Program dedicated to Earth's atmosphere monitoring. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-5p>.
24. National Aeronautics and Space Administration (NASA). URL: <https://www.nasa.gov/>.
25. EcoSystem. URL: https://ecozagroza.gov.ua/map?layer=air_pollution.
26. Stankevich S., Dudar T., Kovalenko G., Kartashov V. (2015). Airborne infrared monitoring of nuclear fuel cycle facilities in Ukraine. Nuclear and radiation safety. 2015. 4(68). P. 31–36. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2015.4\(68\).06](https://doi.org/10.32918/nrs.2015.4(68).06).
27. Zabulonov Y. L., Burtnyak V. M., Odukalets L. A. (2017). System for effective remote control and monitoring of radiation situation based on unmanned aerial vehicle. Science & Innovation. 2017. Vol. 13(4). P. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine13.04.040>.
28. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 25, 2025 No. 1181 “On Approval of the Procedure for Transferring the Results of Emission Monitoring in Real Time”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1181-2025-%D0%BF>.
29. WHO recommendations. Ambient (outdoor) air pollution. 2024. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
30. International Atomic Energy Agency (IAEA). URL: <https://www.iaea.org/>
31. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>.
32. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/viirs>.
33. Chemistry-transport Model for Atmospheric Research (**CHIMERE**). URL: <https://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>.

About the authors:

Khabarova Hanna – PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher, Head of Postgraduate Studies in Ecology, Scientific Research Institution «Ukrainian Research Institute of Ecological Problems» (USRIEP), Kharkiv, e-mail: anetp@ukr.net, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8373-7427>

Kovalenko Grygoriy – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director, Institute of High Energy Physics and Nuclear Physics, National Scientific Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology» of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kharkiv, e-mail: grygoryk0@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7891-5628>

Barbashev Sergiy - Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher Associate, Professor of the Department of Nuclear Power Plants, Odessa Polytechnic National University, Odessa, e-mail: josik65@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5446-153>

А. І. ЮРЧЕНКО, О. А. ЮРЧЕНКО

НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЩОДО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ НАДХОДЖЕННЮ ПЕСТИЦИДІВ ТА АГРОХІМІКАТІВ З СІЛЬГОСПСТОКОМ ДО ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Встановлено, що надходження до поверхневих водних об'єктів біогенних елементів (сполук азоту та фосфору) і пестицидів - є важливою рушійною силою процесу евтрофікації, який призводить до порушення природної рівноваги біопродуктивності, погіршення якості води та недосягнення водними екосистемами «доброго» екологічного стану.

Зазначені обставини вимагають збалансованого застосування кращих сільськогосподарських та екологічних практик, у зв'язку з чим розроблення природоохоронних заходів щодо попередження та запобігання надходженню сполук азоту, фосфору і пестицидів від дифузних джерел сільськогосподарського походження є актуальним завданням у галузі охорони водних ресурсів.

Метою дослідження - є розроблення науково-методологічних передумов (рекомендацій), щодо попередження та запобігання надходженню пестицидів та агрохімікатів з сільгоспстоків до поверхневих водних об'єктів.

Проведено аналіз літературних джерел та результатів власних досліджень щодо забруднення поверхневих водних об'єктів неорганізованим стоком з сільськогосподарських угідь.

Запропоновано комплекс заходів щодо запобігання забрудненню водних об'єктів поверхневим стоком з сільгоспугідь, який розділено на окремі групи: організаційно-господарські, агротехнічні та агроеліоративні, лісомеліоративні, гідротехнічні, водорегулюючі, протиерозійні заходи на водозборах.

Акцентовано увагу на тому, що впровадження в Україні так званої «Нітратної Директиви» ЄС дозволить зменшити забруднення поверхневих вод, що спричинено нітратами й іншими біогенними елементами та пестицидами з сільськогосподарських джерел, а також запобігти такому забрудненню в майбутньому.

Ключові слова: забруднення поверхневих водних об'єктів, поверхневий стік, сільгоспстік, біогенні елементи, пестициди та агрохімікати, ерозія ґрунтів, ґрунтозахисні та водоохоронні заходи, Нітратна Директива

It has been established that the influx of nutrients (nitrogen and phosphorus compounds) and pesticides into surface water bodies is a major driving force behind the process of eutrophication, which leads to a disruption of the natural balance of biological productivity, deterioration of water quality, and the failure of aquatic ecosystems to achieve “good” ecological status.

The mentioned circumstances necessitate a balanced application of best agricultural and environmental practices; therefore, the development of environmental measures to prevent and mitigate the inflow of nitrogen, phosphorus compounds, and pesticides from diffuse agricultural sources is an urgent task in the field of water resources protection.

The purpose of the study is to develop scientific and methodological prerequisites (recommendations) for preventing and avoiding the influx of pesticides and agrochemicals into surface water bodies with agricultural runoff.

Based on a review of literature and results of our own research, an analysis was performed on the surface water pollution by non-point source runoff from agricultural areas.

A comprehensive set of measures has been proposed to prevent the pollution of water bodies by surface runoff from agricultural lands, divided into separate groups: organizational and economic measures, agrotechnical and agro-reclamation measures, forest reclamation measures, and hydraulic, water regulation, and erosion control measures in watersheds.

It was emphasized that the implementation of the EU Nitrates Directive (91/676/EEC) in Ukraine will reduce surface water pollution caused by nitrates, other nutrients, and pesticides from agricultural sources, as well as prevent such pollution in the future.

Keywords: surface water pollution, surface runoff, agricultural runoff, nutrients, pesticides and agrochemicals, soil erosion, soil conservation and water protection measures, Nitrates Directive

Постановка проблеми. Розвиток господарсько-виробничого комплексу регіонів України передбачає економне і комплексне використання природних ресурсів та зниження негативного впливу господарської діяльності на стан навколишнього середовища.

Водні ресурси мають превалююче значення в забезпеченні соціально-економічного прогресу, оскільки водна складова є невід’ємною частиною соціальної,

економічної та екологічної сфер суспільства. Саме тому раціональне використання водних ресурсів, екологічний захист та запобігання їх вичерпання - є одним із пріоритетних напрямків державної політики у сфері забезпечення екологічної безпеки.

В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва - охорона водних ресурсів стає невід'ємною складовою під час розробки і виконання системи ведення господарства. Виключити антропогенне навантаження на водні об'єкти стічними водами сільськогосподарського виробництва на даний час, як і на перспективу, неможливо [1].

Для досягнення раціонального природокористування та охорони поверхневих водних об'єктів в районах активного землеробства, до яких відноситься територія України, необхідно розробити і запровадити природоохоронні заходи.

Актуальність поставленої проблеми. Надходження забруднюючих речовин від дифузних джерел за своєю масою суттєво перевищує, за більшістю показників, надходження забруднюючих речовин від точкових джерел, але дія точкових джерел є більш «концентрована» у місцях скиду, що створює локальний «вибуховий» вплив на екосистему водного об'єкту.

Сучасне використання земельних ресурсів не відповідає вимогам раціонального природокористування. Порушено екологічно допустиме співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, лісових насаджень, що негативно впливає на стійкість агроландшафту [1, 2].

Доля сільськогосподарського виробництва в забрудненні водних об'єктів може складати до 30%, а в період весняної повені і в період літніх дощових повеней основним постачальником біогенних речовин є сільськогосподарські угіддя. Їх вклад в біогенне забруднення водотоків може сягати 70% [1–3].

Високий ступінь розораності сільгоспугідь басейну усіх річок, порівняно короткий період сніготанення, зливовий характер літніх опадів і розчленованість території яружно-балочними системами - викликають значний розвиток водної ерозії, яка чинить негативний, а часто згубний вплив на ґрунти.

Винос агрохімікатів порушує баланс поживних речовин в ґрунті, призводить до зменшення його родючості та погіршення фізичних і хімічних властивостей ґрунту. Надходження пестицидів та агрохімікатів в річкову систему призводить до підвищення вмісту шкідливих речовин у воді, погіршення стану водної фауни і флори, евтрофікації водних об'єктів.

Оскільки вклад дифузних джерел у забруднення поверхневих вод значний [1–4], а на сільськогосподарських територіях він практично повністю визначає антропогенну складову якості поверхневих вод, тому при плануванні та втіленні регіональних екологічних програм ця група джерел навантаження на водні екосистеми повинна бути врахована, а розміри її впливу мають бути оцінені з максимально допустимою точністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій щодо забруднення поверхневих вод стоком з сільгоспугідь. Виконані за останні роки спостереження і розрахунки надходження біогенних елементів до водних об'єктів свідчать про те, що стічні води сільськогосподарського виробництва виносять значну кількість біогенів [4, 5].

Багатьма дослідженнями [3–6] доведено забруднення дифузним стоком з сільгоспугідь як малих річок (наприклад, р. Тетерів), так і великих (р. Дніпро, р. Дунай, р. Сіверський Донець). До прикладу, проведені дослідження [7] показали, що в цілому з території басейну р. Дніпро за рік з поверхневим стоком виноситься понад 19 тис. тонн азоту, 630 тонн фосфору та 118 тонн пестицидів.

Слід відмітити, що неорганізований поверхневий стік з сільгоспугідь є важко контрольованим джерелом забруднення водних об'єктів у зв'язку з його мінливістю, випадковим розподілом у часі, розосередженістю за площею та спорадичністю надходження. Вміст забруднюючих речовин у поверхневому стоці на протязі 10 – 15 хвилин після початку дощу порівняно з вмістом забруднюючих речовин в господарсько-побутових стічних водах. Винос забруднюючих речовин з водозбірної площі призводить до замулення водних об'єктів, погіршення кисневого режиму, органолептичних показників води. Надходження підвищених концентрацій біогенних елементів до водних об'єктів сприяє інтенсифікації процесів евтрофікації.

Специфіка формування поверхневого стоку та відсутність сітки спостережень не дозволяє проводити систематичні прямі спостереження за виносом пестицидів та агрохімікатів з сільгоспугідь.

Отже, порушення оптимального співвідношення між стійкими та нестійкими елементами ландшафту, недосконала протиерозійна організація території сільськогосподарських угідь призводить до швидкого проходження поверхневого стоку, активізації ерозійних процесів і, зрештою, замулення водних об'єктів. Все це вимагає розроблення комплексу ґрунтозахисних та водоохоронних заходів.

Мета дослідження. У зв'язку з вищевикладеним метою даного дослідження є розроблення науково-методологічних передумов (рекомендацій) щодо попередження

та запобігання надходженню пестицидів та агрохімікатів з сільгоспстком до поверхневих водних об'єктів.

Матеріали та методи досліджень. Теоретико-методологічною основою досліджень є наукові методи пізнання, що ґрунтуються на основних положеннях та принципах теорії екології природокористування, цілей сталого розвитку, а також наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених з питань раціонального природокористування, охорони земель та поверхневих водних ресурсів. У роботі використано наступні методи дослідження: системного аналізу та синтезу, індукції й дедукції – для виявлення закономірностей, особливостей формування поверхневого стоку з сільгоспугідь, використання водорегулюючих протиерозійних заходів на водозборах; логічного узагальнення та наукової абстракції – для теоретичного узагальнення та формулювання висновків і перспектив подальших досліджень.

Результати дослідження (виклад основного матеріалу дослідження). Пріоритетними завданнями в державі є розроблення та впровадження комплексу управлінських рішень щодо охорони та раціонального використання ґрунтових ресурсів. Важливими є заходи з реалізації національних цілей щодо досягнення нейтрального рівня деградації земель, запропоновані науковцями Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського») в Концепції досягнення нейтрального рівня деградації земель (ґрунтів) України [8–10].

Перш за все, мова йде про необхідність більш широкого впровадження ґрунтоводоохоронної системи землеробства і зміни структури посівних площ в сторону значного збільшення клину багаторічних трав не тільки в ґрунтозахисних, але і в польових сівоzmінах. Необхідно звести до мінімуму вирощування просапних культур на крутосхилах і провести їх залуження багаторічними бобовими і злаковими травами. Це дасть не тільки певний екологічний, але і економічний ефект за рахунок зменшення енергетичних затрат та пального при обробці схилівих земель [11–15].

Одне із провідних місць в системі ґрунтозахисних та водоохоронних заходів займає лісомеліорація, пов'язана з широким застосуванням лісових насаджень: полезахисних лісових смуг, лісонасаджень на зрошувальних землях, по берегах річок і каналів, навколо водосховищ, ставків та інших водойм, на рекультивованих землях, навколо населених пунктів, промислових підприємств тощо [15].

Той факт, що забруднюючі речовини можуть виноситися до водних об'єктів поверхневим стоком з водозбірних територій, означає, що будь-яка діяльність людини на водозборі річки створює передумови дифузного забруднення водного

об'єкту. До водних об'єктів пестициди та агрохімікати можуть бути винесені як з поверхневим (водним) стоком в розчиненому стані, так і з частинками еродованого ґрунту (твердий стік). Твердий стік часто займає провідне місце серед всіх видів стоку [2].

Теоретичні основи технологічних заходів з охорони ґрунтів від водної ерозії наведені в [16]. Забезпечення екологічно безпечного та економічно вигідного землекористування в ерозійно небезпечних регіонах вимагає боротьби з ерозійними явищами, яка спрямована на припинення ерозійних процесів або на зменшення їх інтенсивності до допустимого в даних ґрунтово-кліматичних умовах рівня.

До природоохоронних заходів належать види господарської діяльності, що спрямовані на зменшення та ліквідацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Захист ґрунтів від ерозії передбачає проведення, як профілактичних заходів запобігання її розвитку, так і конкретних заходів щодо ліквідації ерозії там, де вона вже виникла [11–18].

В численних публікаціях наводяться результати окремих досліджень протиерозійних заходів та рекомендації щодо їх застосування. На основі аналізу відомих протиерозійних заходів, їх систематизації, а також з урахуванням результатів власних досліджень - розроблені науково-методологічні передумови (рекомендації) щодо попередження та запобігання надходженню пестицидів та агрохімікатів з сільгоспстоком до поверхневих водних об'єктів.

В запропонованих рекомендаціях наданий *комплекс загальних природоохоронних заходів* та принципи їх застосування. До складу цього комплексу увійшли організаційно-господарські, агротехнічні та агроеліоративні, лісомеліоративні, гідротехнічні водорегулюючі протиерозійні заходи на водозборах.

Однією із найважливіших складових комплексу заходів з охорони ґрунтів від ерозії та виносу біогенних елементів та пестицидів до водних об'єктів - є *організаційно-господарські заходи*. Це базова група заходів, яка застосовується на території у першу чергу, і від якості виконання якої залежить ефективність всіх інших груп протиерозійних заходів. До організаційно-господарських заходів з охорони ґрунтів від ерозії відносять наступні:

- диференційоване використання земель залежно від природних (перш за все, геоморфологічних) умов;
- раціональне розміщення земельних угідь різного призначення;

- оптимізація структури сільськогосподарських угідь;
- раціональне розміщення сівозмін різних типів;
- організація ґрунтозахисних сівозмін;
- науково обґрунтоване розміщення та форми полів, робочих ділянок, лісомеліоративних та гідротехнічних заходів;
- науково обґрунтований підбір сільськогосподарських культур;
- обмеження в ступені сільськогосподарського освоєння території;
- консервація земель.

Організаційно-господарські заходи передбачають таку протиерозійну організацію території землекористування, при якій забезпечується ефективне застосування усіх складових частин протиерозійної системи. Основою названих заходів є контурна організація землекористування, за умов якої на схилах більше 1,5 – 2° (3 %) здійснюється нарізка полів уперек схилів, тобто по контуру.

Важливим компонентом комплексу протиерозійних та водоохоронних заходів є *агротехнічні та агроеліоративні заходи з охорони ґрунтів від ерозії*, які застосовуються одночасно з вирощуванням сільськогосподарських культур і спрямовані на використання та підвищення захисної ролі рослинного покриву, переведення поверхневого стоку у ґрунтовий, поліпшення властивостей ґрунту тощо.

Завдання агрозаходів полягає у скороченні або повному затриманні поверхневого стоку талих та зливових вод безпосередньо на місці їх випадання, збільшенні запасів продуктивної вологи ґрунту, запобіганні або зменшенні процесів ерозії, збереженні та поліпшенні родючості ґрунту, підвищенні урожайності сільськогосподарських культур.

Агрозаходи є складовою і невід'ємною частиною протиерозійної системи і характеризуються швидкою дією, простотою у застосуванні, високою рентабельністю.

Основні групи агротехнічних та агроеліоративних протиерозійних заходів:

- фітомеліоративні, що передбачають використання захисної ролі сільськогосподарської рослинності – ґрунтозахисні сівозміни, залуження еродованих схилів, зернові колоскові сільськогосподарські культури (озимі, ярові) тощо;
- водозатримувальні заходи обробки ґрунту, зазвичай, уздовж контуру: оранка, лункування, переривисте борознування, глибоке розпушення, щільювання та кротування, плоскорізний обробіток тощо;

– агрохімічні, що передбачають застосування органічних і мінеральних добрив;

– агрофізичні, які полягають у підвищенні протиерозійної стійкості ґрунту шляхом його обробки полімерами – різними структуроутворювачами, латексами тощо;

– затримання снігу, регулювання сніготанення.

Ці заходи необхідно застосовувати на всіх схилових землях, які використовуються у землеробстві. Зональний склад агротехнічних протиерозійних заходів встановлюється залежно від природних і господарських умов.

Важливою частиною комплексу протиерозійних та водоохоронних заходів є *лісомеліоративні заходи з охорони ґрунтів від ерозії*.

Система лісомеліоративних заходів включає такі основні види:

- полезахисні лісові смуги;
- водорегулюючі (стокорегулюючі) лісосмуги;
- прияружні і прибалкові лісові смуги;
- яружно-балкові лісові насадження;
- водоохоронні лісові насадження.

Лісовим насадженням належить домінуюча роль у регулюванні та збереженні сприятливих параметрів довкілля, й забезпеченні на цій основі сталого розвитку регіонів. В сучасних агроландшафтах лісові насадження виконують низку меліоративних та захисних функцій.

Гідротехнічні водорегулюючі протиерозійні заходи на водозборах. На довгих та крутих схилах під час сніготанення, злив та тривалих дощів, утворюються великі маси стічних вод, що здійснюють інтенсивний розмив ґрунтів. Через складність регулювання цих водних мас агротехнічними та фітомеліоративними заходами доцільно створити спеціальні протиерозійні гідротехнічні споруди.

До гідротехнічних заходів належать наступні:

- водоутримуючі та водоспрямовуючі споруди (вали-тераси, водоутримуючі вали, вали-канави та водовідвідні канави для перехоплення і відведення схилового стоку талих і зливових вод, розпилювачі стоку);
- споруди для скидання надлишкового стоку (лотки-швидкотоки, ступеневі перепади тощо);

- споруди для укріплення днищ і стінок ярів та балок (загати, напівзагати, греблі, підпорні стінки тощо);
- схиліві тераси різного типу;
- будівництво водойм для регулювання місцевого стоку (протиерозійні ставки, вали-лимани).

У залежності від інтенсивності прояву ерозійних процесів застосовують як окремі види гідротехнічних споруд, так і різноманітні їх сполучення.

Гідротехнічні заходи, як невід’ємна складова частина системи захисту ґрунтів від ерозії, застосовуються у тому випадку, коли організаційні, агротехнічні та лісомеліоративні заходи неспроможні затримати поверхневий стік на водозборі і не забезпечують повною мірою виконання протиерозійних функцій.

Слід відмітити, що значущість усіх розглянутих гідротехнічних заходів визначається тим, що вони здатні негайно припинити руйнівний вплив поверхневого стоку та, у багатьох випадках, перевести частину вологи, що втрачається і руйнує ґрунт, а також збільшує кількість води у зонах затоплень, в активні запаси, які можуть бути використані для формування врожаю сільськогосподарських культур. Засоби протиерозійної гідротехніки майже завжди займають, як і захисні лісонасадження, постійну площу і служать для надійного та довгострокового меліоративного впливу на режим поверхневого стоку.

При плануванні та впровадженні рекомендацій щодо комплексу протиерозійних і водоохоронних заходів слід керуватись наступними *науково-методологічними підходами*. Охорона ґрунтів від ерозії має знижувати ерозійні втрати ґрунтів до рівня нижче допустимого для даних типів ґрунтів та забезпечувати відсутність проявів яружної ерозії та пилових бур. Система заходів не повинна погіршувати агрономічно та екологічно важливі властивості ґрунтів, повинна в максимально можливій мірі підвищувати родючість ґрунтів і мати сприятливу дію на гідрологічні та мікрокліматичні умови регіону. Застосування ґрунтоохоронних заходів має забезпечувати реалізацію ґрунтами своїх основних продуктивних та екологічних функцій, а також оптимальну, для конкретних ґрунтово-кліматичних умов і систем землекористування, структуру земельних угідь. Запропоновані заходи повинні бути взаємоузгодженими з іншими агрономічними, інженерними та природоохоронними заходами, що здійснюються на даній території. Рекомендовані ґрунтозахисні та водоохоронні заходи мають бути зонально (регіонально) орієнтованими, повинні враховувати особливості природних і антропогенних умов регіону та ув’язуватись й

узгоджуватись між собою. Крім того, охорона ґрунтів від ерозії повинна бути економічно обґрунтованою, неперервною у часі, а її ефективність підлягати безперервному контролю.

З метою зменшення забруднення від впливу діяльності сільськогосподарських підприємств в Європейському Союзі прийнято так звану **«Нітратну Директиву»** [19]. Впровадження Директиви в Україні дозволить зменшити забруднення вод, спричиненого або викликаного нітратами й іншими біогенними елементами та пестицидами з сільськогосподарських джерел, а також запобігти такому забрудненню в майбутньому. Директива передбачає використання кодексу кращих сільськогосподарських практик, які б дозволили збалансувати господарські потреби з необхідністю забезпечення «доброго» стану води та водних екосистем. Власне, Нітратна Директива заснована на принципі зменшення шкоди через попередження забруднення.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. На формування складу поверхневих вод басейну водного об'єкту чинять вплив антропогенні фактори, обумовлені господарською діяльністю людини та супроводжуються надходженням до водних об'єктів забруднюючих речовин. Основними механізмами перенесення пестицидів та агрохімікатів з сільськогосподарських угідь до водного об'єкту є поверхневий стік і ерозія ґрунтів.

2. У результаті високої розораності земель, їх освоєння, використання агрохімікатів та пестицидів збільшується питома вага стоку з сільськогосподарських угідь в забрудненні поверхневих водних об'єктів.

3. Для досягнення раціонального природокористування та охорони поверхневих вод в районах активного землеробства необхідно розробити і запровадити природоохоронні заходи.

4. Аналіз, систематизація й узагальнення літературних джерел, відомчих матеріалів, результатів власних досліджень - дозволили запропонувати науково-методологічні підходи (рекомендації) щодо попередження та запобігання надходженню пестицидів і агрохімікатів з сільськогосподарських угідь до поверхневих водних об'єктів, які включають комплекс заходів на водозбірній площі, направлений на запобігання та зменшення ерозійних процесів з одночасним акумулюванням і переведенням поверхневого стоку у ґрунтові води.

5. Комплекс заходів, щодо запобігання та зменшення забруднення водних об'єктів агрохімікатами і пестицидами доцільно розділити на окремі групи:

I група – організаційно-господарські заходи;

II група – агротехнічні та агроеліоративні заходи;

III група – лісомеліоративні заходи;

IV група – гідротехнічні водорегулюючі протиерозійні заходи на водозборах.

6. Усі складові частини запропонованого комплексу протиерозійних та водоохоронних заходів неможливо замінити одна одною – вони лише взаємо доповнюються, є одним органічним цілим і створюють максимальну протиерозійну та загальну екологічну ефективність.

7. Україна характеризується великим різноманіттям природних умов, різні поєднання яких по-різному впливають на ерозійні процеси. Кожна ґрунтово-кліматична зона (Полісся, Лісостеп, Степ, гірські райони Карпат і Криму) має свої особливості і специфіку прояву ерозійних процесів. Відтак, необхідно розробляти зональні системи захисту ґрунтів від ерозії. При цьому слід враховувати і вплив воєнних дій.

8. Управління водними ресурсами віднесено до пріоритетних у державній політиці України й розглядається як один із найважливіших чинників сталого розвитку суспільства. Тому імплементація Нітратної Директиви ЄС дозволить запобігти забрудненню поверхневих вод, спричиненого нітратами й іншими біогенними елементами та пестицидами з сільськогосподарських джерел, а в майбутньому і покращенню якості води поверхневих водних об'єктів.

Література

1. Юрченко А. І., Полозенцева В. О., Юрченко О. А. Вплив сільського господарства на довкілля // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 19–20 вересня 2024 р.) / УКРНДІЕП. – Харків, 2024. – С. 429–439.

URL: http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf

2. Юрченко А. І. Щодо впливу стоку сільськогосподарських угідь на якість води поверхневих водних об'єктів // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14–15 вересня 2023 р.) / УКРНДІЕП. – Харків, 2023. – С. 395–401. URL: <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf>

3. Строкаль В. П., Ковпак А. В. Причинно-наслідкові зв'язки забруднення біогенними елементами басейну річки Дніпра: синтез теоретичних даних // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – Київ: ВД «Гельветика», 2021. – Вип. 2 (35). – С. 37–44. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6>

4. Осадча Н. М., Ухань О. О., Чехній В. М, Голубцов О. Г. Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневій воді басейну р. Сіверський Донець від дифузних джерел // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології: монографія. – Київ: «Ніка-центр», 2019. – С. 192–200.
5. Ухань О. О., Осадча Н. М. Оцінка антропогенного навантаження біогенними елементами та органічними речовинами у басейні р. Тетерів // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2021. – № 1 (59). – С. 58–63. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>
6. Юрченко А. І., Полозенцева В. О., Асін В. І., Величко Г. М., Гутовець Т. В. Оцінка забруднення пестицидами водних об'єктів в басейні р. Сіверський Донець в межах Харківської області // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей X Міжнародної науково-практичної конференції / УкрНДІЕП. – Харків: «Райдер», 2014. – С. 219–223.
7. Авраменко Н. Л., Сагайдак І. С., Чорна Т. М. Економіка водокористування: стан, проблеми, перспективи: монографія. – Київ: ТОВ «7БЦ», 2018. – 138 с.
8. Балюк С. А., Шимель В. В., Соловей В. Б. Про стан та завдання відновлення, охорони і управління ґрунтовими ресурсами України // Вісник аграрної науки. – 2024. – Т. 102, № 2 (851). – С. 5–10. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202402-01>
9. Концепція досягнення нейтрального рівня деградації земель (ґрунтів) України / За ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, М. М. Мірошніченка. – Харків: ФОП Бровін О. В., 2018. – 32 с.
10. Коляда В. П., Круглов О. В., Ачасова А. О., Шевченко М. В., Дьомкін О. О., Назарок П. Г. Удосконалення системи охорони ґрунтів від ерозії в умовах змін клімату // Вісник аграрної науки. – 2020. – Т. 98, № 12 (813). – С. 70–78. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202012-09>
11. Белоліпський В. О. Теоретичне обґрунтування і шляхи ґрунтоводоохоронної оптимізації агроландшафтів в зоні Степу України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика» / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – Київ, 2006. – 43 с.
12. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України / Редкол.: М. В. Зубець (голова) [та ін.]. – Київ: «Логос», 2004. – 776 с.
13. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західного регіону України / Редкол.: М. В. Зубець (голова) [та ін.]. – Київ: «Урожай», 2004. – 559 с.

14. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Редкол.: М. В. Зубець (голова) [та ін.]. – Київ: «Аграрна наука», 2004. – 844 с.
15. Лісові меліорації: підручник / О. І. Пилипенко, В. Ю. Юхновський, С. М. Дударець, В. М. Малюга; за ред. В. Ю. Юхновського. – Київ: «Аграрна освіта», 2010. – 283 с.
16. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні: колективна монографія / За ред. акад. НААНУ С. А. Балюка та проф. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО / Українська академія аграрних наук, Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». – Харків: ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 2010. – 538 с.
17. Ткачук М. М., Кириша Р. О., Михалішина М. С. Ґрунтозахисні системи з контурно-меліоративною організацією території як об'єкт природоохоронного будівництва // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. Серія: «Технічні науки». – Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 2 (66). – С. 79–86.
18. Інженерний захист територій: навч. посібник / А. М. Рокочинський, В. А. Живиця, Л. А. Волкова, М. І. Ромащенко [та ін.]; за ред. А. М. Рокочинського, Л. А. Волкової, В. А. Живиці, В. П. Чіпака. – Херсон: «ОЛДІ ПЛЮС», 2017. – 414 с.
19. Директива Ради 91/676/ЄЕС від 12 грудня 1991 року щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (ОВ L 375, 31.12.1991, с. 1). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text

References

1. Yurchenko A. I., Polozentseva V. O., Yurchenko O. A. Vplyv silskoho hospodarstva na dovkillia // *Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia: zb. nauk. statei XX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Kharkiv, 19–20 veresnia 2024 r.) / UKRNDIEP.* – Kharkiv, 2024. – S. 429–439.
URL: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf
2. Yurchenko A. I. Shchodo vplyvu stoku silskohospodarskykh uhid na yakist vody poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv // *Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia: zb. nauk. statei XIX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Kharkiv, 14–15 veresnia 2023 r.) / UKRNDIEP.* – Kharkiv, 2023. – S. 395–401.
URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf>
3. Strokal V. P., Kovpak A. V. Prychynno-naslidkovi zviazky zabrudnennia biohennymy elementamy baseinu richky Dnipra: syntezy teoretychnykh danykh // *Ekolohichni nauky: naukovo-*

- praktychnyi zhurnal. – Kyiv: VD “Helvetyka”, 2021. – Vyp. 2 (35). – S. 37–44.
<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6>
4. Osadcha N. M., Ukhan O. O., Chekhni V. M., Holubtsov O. H. Otsinka emisii biohennykh elementiv ta orhanichnykh rehovyn u poverkhnevi vody baseinu r. Siverskyi Donets vid dyfuznykh dzherel // *Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii: monohrafiia*. – Kyiv: “Nika-tsentr”, 2019. – S. 192–200.
 5. Ukhan O. O., Osadcha N. M. Otsinka antropohennoho navantazhennia biohennymy elementamy ta orhanichnymy rehovynamy u baseini r. Teteriv // *Hidrolohii, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. – 2021. – No. 1 (59). – S. 58–63. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>
 6. Yurchenko A. I., Polozentseva V. O., Asin V. I., Velychko H. M., Hutovets T. V. Otsinka zabrudnennia pestytsydamy vodnykh ob'ektiv v baseini r. Siverskyi Donets v mezhakh Kharkivskoi oblasti // *Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia: zb. nauk. statei X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii / UkrNDIEP*. – Kharkiv: “Raider”, 2014. – S. 219–223.
 7. Avramenko N. L., Sahaidak I. S., Chorna T. M. *Ekonomika vodokorystuvannia: stan, problemy, perspektyvy: monohrafiia*. – Kyiv: TOV “7BTs”, 2018. – 138 s.
 8. Baliuk S. A., Shymel V. V., Solovei V. B. Pro stan ta zavdannia vidnovlennia, okhorony i upravlinnia gruntovymy resursamy Ukrainy // *Visnyk ahrarynoi nauky*. – 2024. – T. 102, No. 2 (851). – S. 5–10. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202402-01>
 9. Kontseptsiiia dosiahnennia neitralnogo rivnia dehradatsii zemel (gruntiv) Ukrainy / Za red. S. A. Baliuka, V. V. Medvedieva, M. M. Miroshnychenka. – Kharkiv: FOP Brovin O. V., 2018. – 32 s.
 10. Koliada V. P., Kruhlov O. V., Ahasova A. O., Shevchenko M. V., Domkin O. O., Nazarok P. H. Udoshkonalennia systemy okhorony gruntiv vid erozii v umovakh zmin klimatu // *Visnyk ahrarynoi nauky*. – 2020. – T. 98, No. 12 (813). – S. 70–78. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202012-09>
 11. Belolipskyi V. O. *Teoretychne obgruntuvannia i shliakhy gruntovodookhoronnoi optymizatsii ahrolandshaftiv v zoni Stepu Ukrainy: avtoref. dys. ... d-ra s.-h. nauk: 06.01.03 “Ahrogruntoznavstvo i ahrofizyka” / Nats. un-t bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. – Kyiv, 2006. – 43 s.
 12. *Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva v zoni Lisostepu Ukrainy / Redkol.: M. V. Zubets (holova) [ta in.]*. – Kyiv: “Lohos”, 2004. – 776 s.
 13. *Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva v zoni Polissia i Zakhidnogo rehionu Ukrainy / Redkol.: M. V. Zubets (holova) [ta in.]*. – Kyiv: “Urozhai”, 2004. – 559 s.
 14. *Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva v zoni Stepu Ukrainy / Redkol.: M. V. Zubets (holova) [ta in.]*. – Kyiv: “Ahrarna nauka”, 2004. – 844 s.
 15. *Lisovi melioratsii: pidruchnyk / O. I. Pylypenko, V. Yu. Yukhnovskyi, S. M. Dudarets, V. M. Maliuha; za red. V. Yu. Yukhnovskoho*. – Kyiv: “Ahrarna osvita”, 2010. – 283 s.
 16. *Naukovi ta prykladni osnovy zakhystu gruntiv vid erozii v Ukraini: kolektyvna monohrafiia / Za red. akad. NAANU S. A. Baliuka ta prof. L. L. Tovazhnianskoho / Ukrainska akademiia ahrarynykh*

- nauk, Natsionalnyi naukovyi tsentr "Instytut gruntoznavstva ta ahrokhimii im. O. N. Sokolovskoho". – Kharkiv: NNTs "In-t gruntoznavstva ta ahrokhimii im. O. N. Sokolovskoho", 2010. – 538 s.*
17. Tkachuk M. M., Kyrsha R. O., Mykhalishyna M. S. *Gruntozakhysni systemy z konturno-melioratyvnoiu orhanizatsiieiu terytorii yak ob'ekt pryrodookhoronnoho budivnytstva // Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia: zb. nauk. prats. Seria: "Tekhnichni nauky". – Rivne: NUVHP, 2014. – Vyp. 2 (66). – S. 79–86.*
18. *Inzhenernyi zakhyst terytorii: navch. posibnyk / A. M. Rokochynskyi, V. A. Zhyvytsia, L. A. Volkova, M. I. Romashchenko [ta in.]; za red. A. M. Rokochynskoho, L. A. Volkovi, V. A. Zhyvytsi, V. P. Chipaka. – Kherson: "OLDI PLIUS", 2017. – 414s.*
19. *Dyrektyva Rady 91/676/EES vid 12 hrudnia 1991 roku shchodo zakhystu vod vid zabrudnennia, sprychynenoho nitratamy z silskohospodarskykh dzherel (OV L 375, 31.12.1991, s. 1) [EEC Directive 91/676/EEC of the European Parliament and the Council concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. 1991 b]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text [in Ukrainian].*

Відомості про авторів / About the Authors

Юрченко Анатолій Іванович – завідувач лабораторії природоохоронних заходів в агропромисловому та паливно-енергетичному комплексах. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057) 702-15-89, e-mail: urchenko.niiep@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-9293-5520>

Yurchenko Anatolii Ivanovych – Head of the laboratory of environmental protection measures in the agro-industrial and fuel and energy complexes. Scientific Research Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems» USRIEP, Kharkiv; phone: (057) 702-15-89, e-mail: urchenko.niiep@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-9293-5520>

Юрченко Оксана Анатоліївна – м. Харків; e-mail: urchenko.niiep@gmail.com
Yurchenko Oksana Anatoliivna – Kharkiv; e-mail: urchenko.niiep@gmail.com

Наукове видання

**ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

*Збірник наукових праць
Випуск 47*

Українською, англійською мовами

*Редактор: В. В. Гладкова
Комп'ютерне верстання:*

*В. В. Гладкова;
Н. С. Цапко*

НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
61165, Україна, м. Харків,
вул. Євгенія Єніна, 6

Суб'єкт у сфері друкованих медіа
R30-05265
Рішення від 23.05.2024 № 1674